

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-298237

(43)Date of publication of application : 24.10.2000

(51)Int.Cl.

G02B 17/08

G02B 7/28

G03B 5/00

G09F 9/00

(21)Application number : 11-105538

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 13.04.1999

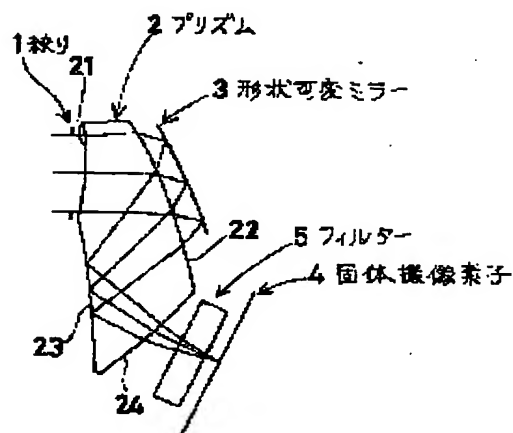
(72)Inventor : HAYAKAWA KAZUHIRO
NISHIOKA KIMHIKO

(54) ECCENTRIC OPTICAL SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a small focusing system that is easily realized in an eccentric optical system, using an asymmetrical rotation surface by using an active reflection optical element with which a reflecting direction can be changed at every position on a reflection surface.

SOLUTION: A shape distortion mirror 3 is a form of reflection optical element by which the reflecting direction is freely changed at every position on the surface to be able to change optical power, and a surface shape is freely changeable. Light fluxes from an object after passing a diaphragm 1 enter a prism 2 from the first surface 21 of an eccentric prism 2, temporarily go out of the prism 2 after refraction on the second surface 22, are made incident to the shape distortion mirror 3, and then are reflected. They enter the prism 2 from the second surface again, are reflected at the third surface 23 this time, are emitted to the outer part of the prism after refraction at the fourth surface 24, pass through a filter 5 and form an image on the image pickup surface of a solid-state image pickup element 4. Focus adjustment, diopter adjustment, aberration change correction with zooming or the compensation of optical performance with the change of temp. and humidity or the like in the eccentric optical system are realized with a simple configuration.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-298237

(P2000-298237A)

(43) 公開日 平成12年10月24日 (2000. 10. 24)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード* (参考)
G 0 2 B 17/08		G 0 2 B 17/08	Z 2 H 0 5 1
7/28		G 0 3 B 5/00	J 2 H 0 8 7
G 0 3 B 5/00		G 0 9 F 9/00	3 1 6 Z 5 G 4 3 5
G 0 9 F 9/00	3 1 6		3 5 7
	3 5 7	G 0 2 B 7/11	Z
審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 34 頁)			

(21) 出願番号 特願平11-105538

(22) 出願日 平成11年4月13日 (1999. 4. 13)

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 早川和仁

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

(72) 発明者 西岡公彦

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

(74) 代理人 100097777

弁理士 荏澤 弘 (外7名)

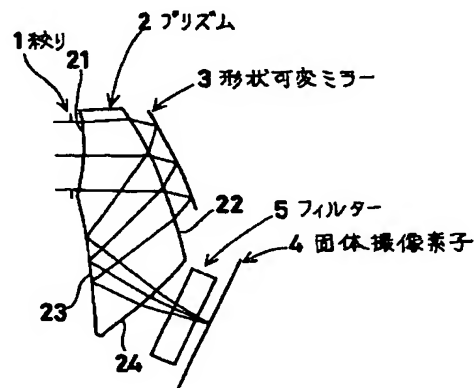
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 偏心光学系

(57) 【要約】

【課題】 回転非対称な面を用いた偏心反射光学系において、小型で容易に実現可能なフォーカシングあるいは視度調節のための焦点合わせ方式、製造誤差、温度、湿度等の環境等の要因による光学性能劣化の低減方式、ズーミングに伴う収差補正方式、手ブレ補正方式を提供する。

【解決手段】 少なくとも1面の回転非対称な面形状の反射面3、22を備えた偏心光学系において、反射面内で位置毎に反射方向を自由に变化させることが可能な能動反射光学素子3を含んでなる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも1面の回転非対称な面形状の反射面を備えた偏心光学系において、反射面内で位置毎に反射方向を変化させることが可能な能動反射光学素子を含むことを特徴とする偏心光学系。

【請求項2】 前記能動反射光学素子が偏心光学系の少なくとも1面の反射面を構成していることを特徴とする請求項1記載の偏心光学系。

【請求項3】 前記能動反射光学素子が、面形状を変化させることができる形状可変ミラーからなることを特徴とする請求項1又は2記載の偏心光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光学系に関し、特に、カメラ、ビデオカメラ、デジタルカメラ、ファインダー、観察光学系、画像表示装置等のためのフォーカシング等が可能な光学系に関するものである。

【0002】

【従来の技術】デジタルカメラ等の光学系に自由曲面とプリズムを組み合わせてなるプリズム光学系の従来の周知なものとして、特開平9-211330号や特開平9-211331号等のものがある。しかし、これらの先行技術においては、物体位置毎の焦点合わせの方法については言及していない。

【0003】このようなプリズム光学系のフォーカシングについては、特開平10-68886号において一部触れられているが、それは、共軸系同様、光軸に沿ったプリズムないし像面の繰り出しによるフォーカシング機構である。

【0004】一方、従来、アダプティブ オプティックスとして、望遠鏡の光学系中に可変鏡を挿入して大気ゆらぎによる波面の乱れを補正することが行われている（例えば、「応用物理」第61巻 第6号（1992）第608～611頁）。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】回転非対称な面を用いた反射光学系におけるフォーカシングあるいは視度調節のための焦点合わせ方式は、回転非対称な面を用いた偏心光学系なので、共軸系と同様な鏡枠回転機構による焦点合わせの方式では、回転非対称な光学系が鏡枠と一緒に回転した場合、像も同時に回転してしまう。これを防ぐため、回転非対称な光学系を回転させることなく像面との距離を変化させることが必要となるが、部品点数が増加し、装置が大型化してしまう。

【0006】また、回転非対称な面を用いた偏心反射光学系において、量産を主眼においた場合、成形による生産手法をとる場合が一般的である。しかし、成形による生産では、光学部品の製造誤差が有為に発生してしまう、光学性能を低下させる要因となってしまう。

【0007】また、回転非対称な面を用いた偏心反射光

学系に限ったことではないが、一般に光学部品の屈折率や形状は、温度、湿度等の環境により変化し、光学性能が低下してしまう。

【0008】また、ズーム光学系では、ズーム状態の変化に伴って変わる収差の状態を能動的変えていくことができない。

【0009】本発明は従来技術のこのような問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、回転非対称な面を用いた偏心反射光学系において、小型で容易に実現可能なフォーカシングあるいは視度調節のための焦点合わせ方式、製造誤差、温度・湿度等の環境等の要因による光学性能劣化の低減方式、ズーミングに伴う収差補正方式、手ブレ補正方式を提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明の偏心光学系は、少なくとも1面の回転非対称な面形状の反射面を備えた偏心光学系において、反射面内で位置毎に反射方向を変化させることが可能な能動反射光学素子を含むことを特徴とするものである。

【0011】この場合に、その能動反射光学素子が偏心光学系の少なくとも1面の反射面を構成していることが望ましい。

【0012】能動反射光学素子としては、面形状を変化させることができる形状可変ミラー、反射面の入射側に隣接する光学媒質の屈折率を自由に变化させることができる屈折率可変ミラー等がある。

【0013】また、能動反射光学素子のミラー面の面形状が、ミラー面で発生する回転非対称な収差を補正するために回転非対称な面形状を有することが望ましい。能動反射光学素子のミラー面は、回転対称な面形状でもよいが、ミラーに対して入射光線が偏心の位置関係にあり、ミラー面で発生する回転非対称な収差を補正するため、回転非対称な面形状のものにする方が収差補正上好ましい。

【0014】本発明においては、反射面内で位置毎に反射方向を変化させることが可能な能動反射光学素子を含むので、偏心反射光学系の焦点調節、視度調節、ズーミングに伴う収差変動補正、温度・湿度の変化に伴う光学性能の変動の補償、光学素子の製造誤差の補償、手ブレ補正等を簡単な構成で行うことが可能となる。

【0015】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の1実施形態の偏心光学系を示したものであり、1は絞リ、2は偏心プリズム、3は形状可変ミラー、4は固体撮像素子であり、5は吸収フィルター、ローパスフィルター、偏光フィルター等の固体撮像素子4に入射する光線の光学的特性を変化させるフィルターである。

【0016】形状可変ミラー3は、面内で位置毎に反射方向を自由に变化させて光学パワー変化可能な反射光学素子の1形態であり、図2に2つの状態を示すように、

面形状を自由に変化させることができるものである。形状可変ミラー3の代わりに、後記の実施例で示すように、反射面の入射側に隣接する光学媒質の屈折率を自由に変化させることができ、反射面内で位置毎に反射方向を自由に変化させて光学パワー変化可能な屈折率可変ミラーを用いてもよい。

【0017】図1の偏心光学系においては、絞リ1を通過した物体からの光束は、偏心プリズム2の第1面21からプリズム2内に入り、第2面22で屈折して一旦プリズム2から外へ出て形状可変ミラー3に入射して反射され、再び第2面22からプリズム2内に入り、今度は第3面23で反射され、第4面24で屈折してプリズム2外に射出し、フィルター5を通過して固体撮像素子4の撮像面上に結像する。

【0018】ところで、形状可変ミラー3のミラー面の面形状としては、回転対称でもよいが、ミラーに対して入射光線（軸上主光線）が偏心の位置関係にあり、ミラー面で発生する回転非対称な収差を補正するため、回転非対称な面形状のものが望ましい。

【0019】その理由を以下に詳述する。まず、用いる座標系、回転非対称な面について説明する。軸上主光線が、光学系の第1面に交差するまでの直線によって定義される光軸をZ軸とし、そのZ軸と直交し、かつ、偏心光学系を構成する各面の偏心面内の軸をY軸と定義し、前記光軸と直交し、かつ、前記Y軸と直交する軸をX軸とする。光線の追跡方向は、物体から像面に向かう順光線追跡で説明する。

【0020】一般に、球面レンズでのみ構成された球面レンズ系では、球面により発生する球面収差と、コマ収差、像面湾曲等の収差をいくつかの面でお互いに補正しあい、全体として収差を少なくする構成になっている。

【0021】一方、少ない面数で収差を良好に補正するためには、回転対称非球面等が用いられる。これは、球面で発生する各種収差自体を少なくするためである。

【0022】しかし、偏心した光学系においては、偏心により発生する回転非対称な収差を回転対称光学系で補正することは不可能である。この偏心により発生する回転非対称な収差は、歪曲収差、像面湾曲、さらに、軸上でも発生する非点収差、コマ収差がある。

【0023】まず、回転非対称な像面湾曲について説明する。例えば、無限遠の物点から偏心した凹面鏡に入射した光線は、凹面鏡に当たって反射結像されるが、光線が凹面鏡に当たって以降、像面までの後側焦点距離は、像界側が空気の場合、光線が当たった部分の曲率半径の半分になる。すると、図18に示すように、軸上主光線

に対して傾いた像面を形成する。このように、回転非対称な像面湾曲を補正するには回転対称な光学系では不可能である。

【0024】この傾いた像面湾曲をその発生源である凹面鏡M自身で補正するには、凹面鏡Mを回転非対称な面で構成し、この例ではY軸正の方向に対して曲率を強く（屈折力を強く）し、Y軸負の方向に対して曲率を弱く（屈折力を弱く）すれば、補正することができる。また、上記構成と同様な効果を持つ回転非対称な面を、凹面鏡Mとは別に光学系中に配置することにより、少ない構成枚数でフラットの像面を得ることが可能となる。

【0025】また、回転非対称な面は、その面内及び面外共に回転対称軸を有しない回転非対称面形状の面とすることが、自由度が増え収差補正上は好ましい。

【0026】次に、回転非対称な非点収差について説明する。上記説明と同様に、偏心して配置された凹面鏡Mでは、軸上光線に対しても図19に示すような非点収差が発生する。この非点収差を補正するためには、上記説明と同様に、回転非対称面のX軸方向の曲率とY軸方向の曲率を適切に変えることによって可能となる。

【0027】さらに、回転非対称なコマ収差について説明する。上記説明と同様に、偏心して配置された凹面鏡Mでは、軸上光線に対しても図20に示すようなコマ収差が発生する。このコマ収差を補正するためには、回転非対称面のX軸の原点から離れるに従って面の傾きを変えると共に、Y軸の正負によって面の傾きを適切に変えることによって可能となる。

【0028】また、本発明の偏心光学系では、前述の反射作用を有する少なくとも1つの面が軸上主光線に対し偏心し、回転非対称な面形状でパワーを有する構成も可能である。このような構成をとれば、その反射面にパワーを持たせることで発生する偏心収差をその面自体で補正することが可能となり、プリズムの屈折面のパワーを緩めることで、色収差の発生自体を小さくすることができる。

【0029】そして、本発明の偏心光学系の構成反射面の1つである形状可変ミラー、屈折率可変ミラーの面形状を回転非対称な面とすることが偏心収差を補正する上で望ましい。

【0030】なお、本発明で用いる上記の回転非対称面は、対称面を1面のみ有する面対称自由曲面であることが好ましい。ここで、本発明で使用する自由曲面とは、以下の式(a)で定義されるものである。なお、その定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

【0031】

$$Z = c r^2 / [1 + \sqrt{1 - (1 + k) c^2 r^2}] + \sum_{i=1}^{\infty} C_i X^i Y^i \quad \dots (a)$$

ここで、(a)式の第1項は球面項、第2項は自由曲面

項である。

【0032】球面項中、

c: 頂点の曲率

k: コーニック定数(円錐定数)

$$r = \sqrt{(X^2 + Y^2)}$$

である。

【0033】自由曲面項は、

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{\infty} C_i X^i Y^i \\ = & C_2 X + C_3 Y \\ & + C_4 X^2 + C_5 XY + C_6 Y^2 \\ & + C_7 X^3 + C_8 X^2 Y + C_9 XY^2 + C_{10} Y^3 \\ & + C_{11} X^4 + C_{12} X^3 Y + C_{13} X^2 Y^2 + C_{14} XY^3 + C_{15} Y^4 \\ & + C_{16} X^5 + C_{17} X^4 Y + C_{18} X^3 Y^2 + C_{19} X^2 Y^3 + C_{20} XY^4 \\ & \quad + C_{21} Y^5 \\ & + C_{22} X^6 + C_{23} X^5 Y + C_{24} X^4 Y^2 + C_{25} X^3 Y^3 + C_{26} X^2 Y^4 \\ & \quad + C_{27} XY^5 + C_{28} Y^6 \\ & + C_{29} X^7 + C_{30} X^6 Y + C_{31} X^5 Y^2 + C_{32} X^4 Y^3 + C_{33} X^3 Y^4 \\ & \quad + C_{34} X^2 Y^5 + C_{35} XY^6 + C_{36} Y^7 \\ & \dots \end{aligned}$$

ただし、 C_j (j は2以上の整数)は係数である。

【0034】上記自由曲面は、一般的には、 $X-Z$ 面、 $Y-Z$ 面共に対称面を持つことはないが、本発明では X の奇数次項を全て0にすることによって、 $Y-Z$ 面と平行な対称面が1つだけ存在する自由曲面となる。例えば、上記定義式(a)においては、 C_2 、 C_5 、 C_7 、 C_9 、 C_{12} 、 C_{14} 、 C_{16} 、 C_{18} 、 C_{20} 、 C_{23} 、 C_{25} 、 C_{27} 、 C_{29} 、 C_{31} 、 C_{33} 、 C_{35} ...の各項の係数を0にすることによって可能である。

【0035】また、 Y の奇数次項を全て0にすることによって、 $X-Z$ 面と平行な対称面が1つだけ存在する自由曲面となる。例えば、上記定義式においては、 C_3 、 C_5 、 C_8 、 C_{10} 、 C_{12} 、 C_{14} 、 C_{17} 、 C_{19} 、 C_{21} 、 C_{23} 、 C_{25} 、 C_{27} 、 C_{30} 、 C_{32} 、 C_{34} 、 C_{36} ...の各項の係数を0にすることによって可能である。

【0036】また上記対称面の方向の何れか一方を対称面とし、それに対応する方向の偏心、例えば、 $Y-Z$ 面と平行な対称面に対して光学系の偏心方向は Y 軸方向

$$0.0001 < \Delta\mu_{ax} < 10 \quad (\text{mm})$$

を満たすことが好ましい。

【0040】この条件の下限の0.0001mmを越えると、ミラーの形状が実質的に変わらなくなってしまい、本発明の主旨に反する。上限の10mmを越えると、ミラーの変形量が大きくなりすぎ、組み合わせる光

$$0.001 < \Delta\mu_{ax} < 1 \quad (\text{mm})$$

を満たすことが望ましい。

【0042】本発明の構成においては、能動反射光学素子の反射面(図3においては、形状可変ミラー3の反射面)とその入射側あるいは射出側の隣接する光学作用面6(図3は後記の実施例1に対応し、射出側のみ光学作用面(反射面)6がある。)との位置関係を示したも

$$0.001 < \Delta L_f < 1000 \quad (\text{mm}) \quad \dots (2)$$

$$0.001 < \Delta L_b < 1000 \quad (\text{mm}) \quad \dots (3)$$

に、 $X-Z$ 面と平行な対称面に対しては光学系の偏心方向は X 軸方向にすることで、偏心により発生する回転非対称な収差を効果的に補正しながら同時に製作性をも向上させることが可能となる。

【0037】また、上記定義式(a)は、前述のように1つの例として示したものであり、本発明は、対称面を1面のみ有する回転非対称面を用いることで偏心により発生する回転非対称な収差を補正し、同時に製作性も向上させるということが特徴であり、他のいかなる定義式に対しても同じ効果が得られることは言うまでもない。

【0038】さて、図1のような本発明の偏心光学系において、焦点合わせ等、本発明の前記課題を解決するために、形状可変ミラー3の面形状を変化させて焦点合わせ等を行うことができる。

【0039】この場合、形状可変ミラー3が図2の状態1から状態2へと変化するときの反射面の同一点の移動量を $\Delta\mu$ とする。このとき、ミラー形状の変量 $\Delta\mu$ の中、変化量が最大となるものを $\Delta\mu_{ax}$ とすると、

$$\dots (1)$$

学素子と干渉してしまう。また、形状変化が著しくなると、他の面との組み合わせにより補正されていた収差のバランスが崩れ、過剰に補正された収差と補正し切れない収差が発生してしまい、性能上好ましくない。

【0041】さらに好ましくは、

$$\dots (1-1)$$

のが図3である。能動反射光学素子の前の光学作用面から能動反射光学素子の反射面までの軸上主光線11の光路長を ΔL_f とし、能動反射光学素子の反射面から能動反射光学素子の後の光学作用面までの軸上主光線11の光路長を ΔL_b とすると、

の少なくとも一方の式を満たすことが好ましい。

【0043】それぞれの式の下限の0.001mmを越えると、形状可変ミラーあるいは屈折率可変ミラーとその前後の光学作用面とが物理的に干渉してしまい、実際に構成することができなくなってしまう。上限の100

$$0.01 < \Delta L_f < 100 \quad (\text{mm}) \quad \dots (2-1)$$

$$0.01 < \Delta L_b < 100 \quad (\text{mm}) \quad \dots (3-1)$$

の少なくとも一方の式を満たすことが好ましい。

$$0.1 < \Delta L_f < 10 \quad (\text{mm}) \quad \dots (2-2)$$

$$0.1 < \Delta L_b < 10 \quad (\text{mm}) \quad \dots (3-2)$$

の少なくとも一方の式を満たすことが好ましい。

【0046】図1に示したようなプリズム2と形状可変ミラー（あるいは屈折率可変ミラー）3を組み合わせた光学系の場合において、プリズム2の射出面7を射出し、形状可変ミラー3に入射する光線、ないし、形状可変ミラー3を射出し、プリズム2に入射する光線が、以下の3条件の中、少なくとも1つを満たすことが重要である。

【0047】プリズム2の射出面7において、図4に示

$n > n'$ においては、

$$0 \leq \sin \theta_{ex} < n' / n \quad \dots (4)$$

$n < n'$ においては、

$$0 \leq \sin \theta_{in} < n / n' \quad \dots (5)$$

上記条件式の(4)においては、上限を越えると、光線は射出面7において全反射してしまい、形状可変ミラー3に光線が到達できなくなってしまう。また、上記条件式の(5)においては、上限を越えると、形状可変ミラー3で反射された光線が射出面7によって全反射してしまい、再びプリズム2内に入射できなくなってしまう。

$$1^\circ < \phi < 85^\circ$$

この条件式の上限の85°を越えると、能動反射光学素子への光線の入射角が大きくなりすぎて、能動反射光学素子の反射面の偏心量が大きくなりすぎるため、例えば回転非対称なディストーションや像面湾曲といった収差が大きく発生してしまい、組み合わせて用いる反射光学

$$15^\circ < \phi < 55^\circ$$

を満たすことが好ましい。

【0052】

【実施例】以下、本発明の偏心光学系の実施例1～7について説明する。なお、各実施例の構成パラメータは後に示す。

【0053】各実施例において、図5に示すように、軸上主光線11を物体中心を出て、絞り1の中心を通り、像面4中心に到る光線で定義する。そして、偏心ミラー系（偏心プリズム）を射出する軸上主光線11に垂直に仮想面をとる。軸上主光線11と絞り面1の交点を、次の光学面から仮想面までの間の偏心光学面の原点として、入射する軸上主光線11の進行方向に沿った方向をZ軸正方向とし、このZ軸と像面4中心を含む平面をY-Z平面とし、原点を通りY-Z平面に直交し、紙面の

0mmを越えると、光学系そのものが大きくなってしまい、本発明の主旨である小型で高性能な光学系を提供することができなくなってしまう。

【0044】さらに好ましくは、

【0045】さらに好ましくは、

すように、射出光線が射出する位置のプリズム2の射出面7の法線とプリズム2内の光線とのなす角を θ_{ex} とし、入射光線が入射する位置のプリズム2の射出面7の法線とプリズム2外の光線とのなす角を θ_{in} とし、プリズム2媒質の屈折率を n 、プリズム2と形状可変ミラー3の間を満たす媒質の屈折率（屈折率可変ミラーの場合は、反射面の入射側に隣接する光学媒質の屈折率）を n' とする。

【0048】

下限を越えることは θ_{ex} 、 θ_{in} の定義からあり得ない。

【0049】また、本発明において、能動反射光学素子に入射する軸上主光線が能動反射光学素子の反射面と交わる位置での法線とのなす角度を ϕ （図3参照）とすると、次の条件式を満たすことが重要である。

【0050】

系においてこれら収差を補正し切れなくなってしまう。下限の1°を越えると、能動反射光学素子の反射面に略垂直に入射してしまい、能動反射光学素子の入射光路と略同じ光路を通して光線が物体側へ戻ってしまう。

【0051】さらに好ましくは、

$$\dots (6-1)$$

手前から裏面側に向かう方向をX軸正方向とし、X軸、Z軸と右手直交座標系を構成する軸をY軸とする。図5には、仮想面と絞り面1中心について定められた座標系とを図示してある。図6以下については、これら仮想面と座標系の図示は省く。

【0054】実施例1～7では、このY-Z平面内で各面の偏心を行っており、また、各回転非対称自由曲面の唯一の対称面をY-Z面としている。

【0055】偏心面については、対応する座標系の原点から、その面の面頂位置の偏心量（X軸方向、Y軸方向、Z軸方向をそれぞれX、Y、Z）と、その面の中心軸（自由曲面については、前記(a)式のZ軸）のX軸、Y軸、Z軸それぞれを中心とする傾き角（それぞれ α 、 β 、 γ (°)）とが与えられている。なお、その場

合、 α と β の正はそれぞれの軸の正方向に対して反時計回りを、 r の正はZ軸の正方向に対して時計回りを意味する。

【0056】また、各実施例の光学系を構成する光学作用面の中、特定の面(仮想面を含む。)とそれに続く面が共軸光学系を構成する場合には、面間隔が与えられており、その他、媒質の屈折率、アッペ数が慣用法に従って与えられている。

【0057】また、本発明で用いられる自由曲面の面の形状は前記(a)式により定義し、その定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

【0058】なお、データの記載されていない自由曲面

$$\begin{aligned} x &= R \cos(A) \\ y &= R \sin(A) \\ Z &= D_2 \\ &+ D_3 R \cos(A) + D_4 R \sin(A) \\ &+ D_5 R^2 \cos(2A) + D_6 (R^2 - 1) + D_7 R^2 \sin(2A) \\ &+ D_8 R^3 \cos(3A) + D_9 (3R^3 - 2R) \cos(A) \\ &+ D_{10} (3R^3 - 2R) \sin(A) + D_{11} R^3 \sin(3A) \\ &+ D_{12} R^4 \cos(4A) + D_{13} (4R^4 - 3R^2) \cos(2A) \\ &+ D_{14} (6R^4 - 6R^2 + 1) + D_{15} (4R^4 - 3R^2) \sin(2A) \\ &+ D_{16} R^4 \sin(4A) \\ &+ D_{17} R^5 \cos(5A) + D_{18} (5R^5 - 4R^3) \cos(3A) \\ &+ D_{19} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \cos(A) \\ &+ D_{20} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \sin(A) \\ &+ D_{21} (5R^5 - 4R^3) \sin(3A) + D_{22} R^5 \sin(5A) \\ &+ D_{23} R^6 \cos(6A) + D_{24} (6R^6 - 5R^4) \cos(4A) \\ &+ D_{25} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \cos(2A) \\ &+ D_{26} (20R^6 - 30R^4 + 12R^2 - 1) \\ &+ D_{27} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \sin(2A) \\ &+ D_{28} (6R^6 - 5R^4) \sin(4A) + D_{29} R^6 \sin(6A) \dots \dots \dots \end{aligned}$$

(b)

なお、X軸方向に対称な光学系として設計するには、 $D_4, D_5, D_6, D_{10}, D_{11}, D_{12}, D_{13}, D_{14}, D_{20}, D_{21}, D_{22} \dots$ を利用する。

【0061】その他の面の例として、次の定義式(c)があげられる。

$$\begin{aligned} Z &= C_2 \\ &+ C_3 y + C_4 |x| \\ &+ C_5 y^2 + C_6 y |x| + C_7 x^2 \\ &+ C_8 y^3 + C_9 y^2 |x| + C_{10} y x^2 + C_{11} |x^3| \\ &+ C_{12} y^4 + C_{13} y^3 |x| + C_{14} y^2 x^2 + C_{15} y |x^3| + C_{16} x^4 \\ &+ C_{17} y^5 + C_{18} y^4 |x| + C_{19} y^3 x^2 + C_{20} y^2 |x^3| \\ &\quad + C_{21} y x^4 + C_{22} |x^5| \\ &+ C_{23} y^6 + C_{24} y^5 |x| + C_{25} y^4 x^2 + C_{26} y^3 |x^3| \\ &\quad + C_{27} y^2 x^4 + C_{28} y |x^5| + C_{29} x^6 \\ &+ C_{30} y^7 + C_{31} y^6 |x| + C_{32} y^5 x^2 + C_{33} y^4 |x^3| \\ &\quad + C_{34} y^3 x^4 + C_{35} y^2 |x^5| + C_{36} y x^6 + C_{37} |x^7| \\ &\quad \dots \dots \dots \end{aligned}$$

(c)

なお、本発明の実施例では、前記(a)式を用いた自由

に関する項は0である。屈折率については、d線(波長587.56nm)に対するものを表記してある。長さの単位はmmである。

【0059】また、自由曲面の他の定義式として、以下の(b)式で与えられるZernike多項式がある。この面の形状は以下の式により定義する。その定義式のZ軸がZernike多項式の軸となる。回転非対称面の定義は、X-Y面に対するZの軸の高さの極座標で定義され、AはX-Y面内のZ軸からの距離、RはZ軸回りの方位角で、Z軸から測った回転角で表せられる。

【0060】

$$【0062】 Z = \sum \sum C_{na} X^n Y^a$$

例として、 $k=7$ (7次項)を考えると、展開したとき、以下の式で表せる。

【0063】

曲面で面形状が表現されているが、上記(b)式、

(c)式を用いても同様の作用効果を得られるのは言うまでもない。

【0064】以下に、本発明の実施例について述べる。何れの実施例も、像面4のサイズが横×縦で、4.88mm×3.67mmとしている。

【0065】実施例1は、図5に示すように、偏心反射光学系をミラーを用いて構成した例であり、焦点距離7.75mm、Fナンバー3.9の光学系の場合である。本実施例では、絞り1を通過した物体からの光束は、形状可変ミラー3に入射して反射され、次いで別のミラー6で反射され、その後、フィルター5を通過して像面4に結像する。この実施例では、形状可変ミラー3の形状を変形させて、無限遠(ポジション1)から、1000mm(ポジション2)を経て、近点100mm(ポジション3)まで焦点合わせが可能な光学系となっている。水平半面角14.43°、垂直半面角10.92°である。

【0066】実施例2は、図6に示すように、偏心反射光学系を偏心プリズムを用いて構成した例であり、焦点距離7.75mm、Fナンバー2.8の光学系の場合である。本実施例では、絞り1を通過した物体からの光束は、偏心プリズム2の第1面21からプリズム2内に入り、第2面22で屈折して一旦プリズム2から外へ出て形状可変ミラー3に入射して反射され、再び第2面22からプリズム2内に入り、今度は第3面23で反射され、第4面24で屈折してプリズム2外に射出し、フィルター5を通過して像面4に結像する。この実施例では、形状可変ミラー3の形状を変形させて、無限遠(ポジション1)から、1000mm(ポジション2)を経て、近点100mm(ポジション3)まで焦点合わせが可能な光学系となっている。水平半面角14.43°、垂直半面角10.92°である。

【0067】実施例3は、図7に示すように、偏心反射光学系を偏心プリズムを用い、形状可変ミラー3とそのプリズム2の間に流動可能な媒質(この実施例の場合は液体)で満たして構成した例であり、焦点距離7.75mm、Fナンバー2.8の光学系の場合である。本実施例では、絞り1を通過した物体からの光束は、偏心プリズム2の第1面21からプリズム2内に入り、第2面22で屈折して一旦プリズム2から外へ出て液体9中を通過して形状可変ミラー3に入射して反射され、再び液体9を通過して第2面22からプリズム2内に入り、今度は第3面23で反射され、第4面24で屈折してプリズム2外に射出し、フィルター5を通過して像面4に結像する。この実施例では、形状可変ミラー3の形状を変形させて、無限遠(ポジション1)から、1000mm(ポジション2)を経て、近点100mm(ポジション3)まで焦点合わせが可能な光学系となっている。なお、プリズム2と形状可変ミラー3の間には液溜め8から供給される液体9で満たされており、形状可変ミラー3の変

形に伴ってその間の空間が膨張する場合には液溜め8から液体9が送られ、その間の空間が収縮する場合には液溜め8へ液体9が送られる。水平半面角14.43°、垂直半面角10.92°である。

【0068】実施例4は、図8に示すように、実施例2と同様に偏心反射光学系を偏心プリズムを用いて構成した例で、異なるタイプのプリズムを用いた、焦点距離4.98mm、Fナンバー2.8の光学系の場合である。本実施例では、絞り1を通過した物体からの光束は、偏心プリズム2の第1面21からプリズム2内に入り、第2面22で全反射され、その反射光は第3面23で屈折して一旦プリズム2から外へ出て形状可変ミラー3に入射して反射され、再び第3面23からプリズム2内に入り、今度は第4面24で反射され、再度第2面22に入射して今度は屈折されてプリズム2外に射出し、フィルター5を通過して像面4に結像する。この実施例では、形状可変ミラー3の形状を変形させて、無限遠(ポジション1)から、1000mm(ポジション2)を経て、近点100mm(ポジション3)まで焦点合わせが可能な光学系となっている。水平半面角26.14°、垂直半面角20.21°である。

【0069】実施例5は、図9に示すように、実施例2と同様に偏心反射光学系を偏心プリズムを用いて構成した例で、さらに別のタイプのプリズムを用いた、焦点距離7.75mm、Fナンバー2.8の光学系の場合である。本実施例では、絞り1を通過した物体からの光束は、偏心プリズム2の第1面21からプリズム2内に入り、第2面22で屈折して一旦プリズム2から外へ出て形状可変ミラー3に入射して反射され、再び第2面22からプリズム2内に入り、今度は第1面21で全反射され、第3面23で全反射され、その反射光は第4面24で反射され、再度第3面23に入射して今度は屈折されてプリズム2外に射出し、フィルター5を通過して像面4に結像する。このように、この実施例では、プリズム2内で反射作用を有する面を3面有し、その中2面では全反射を利用している。この実施例では、形状可変ミラー3の形状を変形させて、無限遠(ポジション1)から、1000mm(ポジション2)を経て、近点100mm(ポジション3)まで焦点合わせが可能な光学系となっている。水平半面角14.43°、垂直半面角10.92°である。

【0070】実施例6は、図10～図12に示すように、同軸屈折光学系からなる第1群G1と偏心反射光学系からなる第2群G2とからなり、第1群G1と第2群G2の間隔、第2群G2と像面4との間隔を可変とする2群ズーム光学系であり、その後群G2を可変焦点ミラー3と偏心プリズム2で構成した例であり、図10は広角端(ポジション1)、図11は中間状態(ポジション2)、図12は望遠端(ポジション3)での断面図である。焦点距離は5～7～10mm(広角端～中間状

態～望遠端)、Fナンバーは2.8～5.6の2倍ズーム光学系である。本実施例では、物体からの光束は、負・正・負の3枚のレンズからなる第1群G1と絞り1を経て、偏心プリズム2と可変焦点ミラー(形状可変ミラー)3とからなる第2群G2に入射する。第2群G2に入射した光束は、プリズム2の第1面21からプリズム2内に入り、第2面22で屈折して一旦プリズム2から外へ出て可変焦点ミラー3に入射して反射され、再び第2面22からプリズム2内に入り、今度は第3面23で反射され、第4面24で屈折してプリズム2外に射出し、フィルター5を通過して像面4に結像する。この実施例では、ズーム状態の変化による収差の変化を可変焦点ミラー3の形状を変化させて、収差が良好な状態に保つことが可能な光学系となっている。水平半画角26.05～13.73～9.71°(広角端～中間状態～望遠端)、垂直半画角20.13～14.67～10.39°(広角端～中間状態～望遠端)となっている。

実施例1

(ポジション1)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	∞			
1	∞ (絞り面)				
2	FFS①(DSM)		偏心(1)		
3	FFS②		偏心(2)		
4	∞ (HRP)		偏心(3)		
5	∞	1.00		1.5163	64.1
6	∞	0.50			

像面

FFS①

C_4	-2.5031×10^{-2}	C_6	-2.2039×10^{-2}	C_8	-2.9317×10^{-5}
C_{10}	-1.2937×10^{-4}	C_{11}	-2.9218×10^{-5}	C_{13}	3.7470×10^{-4}
C_{15}	-3.5345×10^{-4}				

FFS②

C_4	-7.2454×10^{-3}	C_6	-3.6417×10^{-3}	C_8	8.5040×10^{-4}
C_{10}	6.1043×10^{-4}	C_{11}	-1.2103×10^{-4}	C_{13}	1.9109×10^{-4}
C_{15}	-3.3215×10^{-4}				

偏心(1)

X	0.00	Y	0.00	Z	5.51
α	19.22	β	0.00	γ	0.00

偏心(2)

X	0.00	Y	-4.45	Z	-0.09
α	-2.41	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)

X	0.00	Y	-6.20	Z	1.80
α	-44.00	β	0.00	γ	0.00

【0073】

(ポジション2)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	1000.00			
1	∞ (絞り面)				

【0071】実施例7は、実施例2の偏心プリズム2の第3面23の設計形状 S_0 に、製造誤差を近似したうねりを加えて光学性能を意図的に劣化させ、形状可変ミラー3の形状を変えて収差を補正した場合の実施例である。そのうねりとして周期的なうねりを仮定している。第3面23の設計形状を S_0 、このうねりを加えた後の第3面23の面形状を S として、

$$S = S_0 + A \cos(2\pi r/R)$$

で表される。ここで、 A はうねりの振幅、 R はうねりの周波数であり、 $r = X^2 + Y^2$ とする。なお、 X 、 Y は第3面23の局所座標系での値である(自由曲面を定義する式(a)の座標と同じ。)。本実施例では、 $A = 1.0 \mu\text{m}$ 、 $R = 1.75 \text{ mm}$ とした。水平半画角14.43°、垂直半画角10.92°である。

【0072】以下に上記実施例1～7の構成パラメータを示す。これら表中の“FFS”は自由曲面、“HRP”は仮想面、“DSM”は形状可変ミラーを示す。

2	FFS① (DSM)	偏心(1)		
3	FFS②	偏心(2)		
4	∞ (HRP)	偏心(3)		
5	∞	1.00	1.5163	64.1
6	∞	0.50		

像 面

FFS①

C_4	-2.5208×10^{-2}	C_6	-2.2436×10^{-2}	C_8	-7.8378×10^{-5}
C_{10}	-4.1752×10^{-5}	C_{11}	-6.4661×10^{-7}	C_{13}	1.6197×10^{-4}
C_{15}	-9.9899×10^{-5}				

FFS②

C_4	-7.2454×10^{-3}	C_6	-3.6417×10^{-3}	C_8	8.5040×10^{-4}
C_{10}	6.1043×10^{-4}	C_{11}	-1.2103×10^{-4}	C_{13}	1.9109×10^{-4}
C_{15}	-3.3215×10^{-4}				

偏心(1)

X	0.00	Y	0.00	Z	5.51
α	19.22	β	0.00	γ	0.00

偏心(2)

X	0.00	Y	-4.45	Z	-0.09
α	-2.41	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)

X	0.00	Y	-6.20	Z	1.80
α	-44.00	β	0.00	γ	0.00

【0074】

(ポジション3)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	100.00			
1	∞ (絞り面)				
2	FFS① (DSM)		偏心(1)		
3	FFS②		偏心(2)		
4	∞ (HRP)		偏心(3)		
5	∞	1.00		1.5163	64.1
6	∞	0.50			

像 面

FFS①

C_4	-2.7454×10^{-2}	C_6	-2.4438×10^{-2}	C_8	-9.3711×10^{-5}
C_{10}	-3.8656×10^{-5}	C_{11}	-3.2751×10^{-6}	C_{13}	1.4958×10^{-4}
C_{15}	-9.5620×10^{-5}				

FFS②

C_4	-7.2454×10^{-3}	C_6	-3.6417×10^{-3}	C_8	8.5040×10^{-4}
C_{10}	6.1043×10^{-4}	C_{11}	-1.2103×10^{-4}	C_{13}	1.9109×10^{-4}
C_{15}	-3.3215×10^{-4}				

偏心(1)

X	0.00	Y	0.00	Z	5.51
α	19.22	β	0.00	γ	0.00

偏心(2)

X	0.00	Y	-4.45	Z	-0.09
α	-2.41	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)

X	0.00	Y	-6.20	Z	1.80
---	------	---	-------	---	------

【0075】

 α -44.00 β 0.00 γ 0.00

実施例2

(ポジション1)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	∞			
1	∞ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(2)		
4	FFS③ (DSM)		偏心(3)		
5	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
6	FFS④		偏心(4)	1.5254	56.2
7	FFS⑤		偏心(5)		
8	∞ (HRP)		偏心(6)		
9	∞	1.00		1.5163	64.1
10	∞	0.50			
像面	∞				
FFS①					
C_4	-6.1472×10^{-2}	C_6	-6.5206×10^{-2}	C_8	-2.2839×10^{-2}
C_{10}	-1.6839×10^{-2}	C_{11}	-1.2295×10^{-3}	C_{13}	-4.8789×10^{-3}
C_{15}	-1.6701×10^{-3}				
FFS②					
C_4	-5.8777×10^{-2}	C_6	-4.8740×10^{-2}	C_8	-4.3380×10^{-3}
C_{10}	-2.5314×10^{-3}	C_{11}	-2.7163×10^{-4}	C_{13}	-4.6696×10^{-4}
C_{15}	2.3035×10^{-4}				
FFS③					
C_4	-2.4117×10^{-2}	C_6	-2.7676×10^{-2}	C_8	-1.6249×10^{-3}
C_{10}	-8.5067×10^{-4}	C_{11}	-3.7950×10^{-5}	C_{13}	-2.7720×10^{-4}
C_{15}	-1.0928×10^{-4}				
FFS④					
C_4	-1.2619×10^{-2}	C_6	-1.1670×10^{-2}	C_8	-3.0772×10^{-3}
C_{10}	-8.2107×10^{-4}	C_{11}	-4.7837×10^{-5}	C_{13}	2.8954×10^{-4}
C_{15}	2.7821×10^{-4}				
FFS⑤					
C_4	1.8447×10^{-2}	C_6	-4.1562×10^{-2}	C_8	-9.6013×10^{-3}
C_{10}	9.4593×10^{-3}	C_{11}	1.6389×10^{-3}	C_{13}	2.9356×10^{-3}
C_{15}	5.4875×10^{-3}				
偏心(1)					
X	0.00	Y	0.00	Z	0.50
α	-4.99	β	0.00	γ	0.00
偏心(2)					
X	0.00	Y	-0.07	Z	2.96
α	22.02	β	0.00	γ	0.00
偏心(3)					
X	0.00	Y	-0.45	Z	4.29
α	22.02	β	0.00	γ	0.00
偏心(4)					
X	0.00	Y	-4.55	Z	0.44
α	1.76	β	0.00	γ	0.00
偏心(5)					

X 0.00 Y -6.27 Z 2.61
 α -50.21 β 0.00 γ 0.00
 偏心(6)
 X 0.00 Y -6.78 Z 3.42
 α -32.07 β 0.00 γ 0.00

【0076】

(ポジション2)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	1000.00			
1	∞ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(2)		
4	FFS③ (DSM)		偏心(3)		
5	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
6	FFS④		偏心(4)	1.5254	56.2
7	FFS⑤		偏心(5)		
8	∞ (HRP)		偏心(6)		
9	∞	1.00		1.5163	64.1
10	∞	0.50			
像 面	∞				
FFS①					
C ₄	-6.1472×10^{-2}	C ₆ -6.5206×10^{-2}	C ₈ -2.2839×10^{-2}		
C ₁₀	-1.6839×10^{-2}	C ₁₁ -1.2295×10^{-3}	C ₁₃ -4.8789×10^{-3}		
C ₁₅	-1.6701×10^{-3}				
FFS②					
C ₄	-5.8777×10^{-2}	C ₆ -4.8740×10^{-2}	C ₈ -4.3380×10^{-3}		
C ₁₀	-2.5314×10^{-3}	C ₁₁ -2.7163×10^{-4}	C ₁₃ -4.6696×10^{-4}		
C ₁₅	2.3035×10^{-4}				
FFS③					
C ₄	-2.4379×10^{-2}	C ₆ -2.7905×10^{-2}	C ₈ -1.6233×10^{-3}		
C ₁₀	-8.4937×10^{-4}	C ₁₁ -3.6231×10^{-5}	C ₁₃ -2.8084×10^{-4}		
C ₁₅	-9.9887×10^{-5}				
FFS④					
C ₄	-1.2619×10^{-2}	C ₆ -1.1670×10^{-2}	C ₈ -3.0772×10^{-3}		
C ₁₀	-8.2107×10^{-4}	C ₁₁ -4.7837×10^{-5}	C ₁₃ 2.8954×10^{-4}		
C ₁₅	2.7821×10^{-4}				
FFS⑤					
C ₄	1.8447×10^{-2}	C ₆ -4.1562×10^{-2}	C ₈ -9.6013×10^{-3}		
C ₁₀	9.4593×10^{-3}	C ₁₁ 1.6389×10^{-3}	C ₁₃ 2.9356×10^{-3}		
C ₁₅	5.4875×10^{-3}				
偏心(1)					
X	0.00	Y 0.00	Z 0.50		
α	-4.99	β 0.00	γ 0.00		
偏心(2)					
X	0.00	Y -0.07	Z 2.96		
α	22.02	β 0.00	γ 0.00		
偏心(3)					
X	0.00	Y -0.45	Z 4.29		
α	22.02	β 0.00	γ 0.00		
偏心(4)					

X 0.00 Y -4.55 Z 0.44

α 1.76 β 0.00 r 0.00

偏心(5)

X 0.00 Y -6.27 Z 2.61

α -50.21 β 0.00 r 0.00

偏心(6)

X 0.00 Y -6.78 Z 3.42

α -32.07 β 0.00 r 0.00

【0077】

(ポジション3)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	100.00			
1	∞ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(2)		
4	FFS③ (DSM)		偏心(3)		
5	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
6	FFS④		偏心(4)	1.5254	56.2
7	FFS⑤		偏心(5)		
8	∞ (HRP)		偏心(6)		
9	∞	1.00		1.5163	64.1
10	∞	0.50			
像 面	∞				
FFS①					
C_4	-6.1472×10^{-2}	C_6 -6.5206×10^{-2}	C_8 -2.2839×10^{-2}		
C_{10}	-1.6839×10^{-2}	C_{11} -1.2295×10^{-3}	C_{13} -4.8789×10^{-3}		
C_{15}	-1.6701×10^{-3}				
FFS②					
C_4	-5.8777×10^{-2}	C_6 -4.8740×10^{-2}	C_8 -4.3380×10^{-3}		
C_{10}	-2.5314×10^{-3}	C_{11} -2.7163×10^{-4}	C_{13} -4.6696×10^{-4}		
C_{15}	2.3035×10^{-4}				
FFS③					
C_4	-2.6700×10^{-2}	C_6 -2.9821×10^{-2}	C_8 -1.5766×10^{-3}		
C_{10}	-8.0509×10^{-4}	C_{11} -3.0015×10^{-5}	C_{13} -2.4754×10^{-4}		
C_{15}	-9.7984×10^{-5}				
FFS④					
C_4	-1.2619×10^{-2}	C_6 -1.1670×10^{-2}	C_8 -3.0772×10^{-3}		
C_{10}	-8.2107×10^{-4}	C_{11} -4.7837×10^{-5}	C_{13} 2.8954×10^{-4}		
C_{15}	2.7821×10^{-4}				
FFS⑤					
C_4	1.8447×10^{-2}	C_6 -4.1562×10^{-2}	C_8 -9.6013×10^{-3}		
C_{10}	9.4593×10^{-3}	C_{11} 1.6389×10^{-3}	C_{13} 2.9356×10^{-3}		
C_{15}	5.4875×10^{-3}				
偏心(1)					
X	0.00	Y 0.00	Z 0.50		
α	-4.99	β 0.00	r 0.00		
偏心(2)					
X	0.00	Y -0.07	Z 2.96		
α	22.02	β 0.00	r 0.00		
偏心(3)					

X	0.00	Y	-0.45	Z	4.29
α	22.02	β	0.00	γ	0.00
偏心(4)					
X	0.00	Y	-4.55	Z	0.44
α	1.76	β	0.00	γ	0.00
偏心(5)					
X	0.00	Y	-6.27	Z	2.61
α	-50.21	β	0.00	γ	0.00
偏心(6)					
X	0.00	Y	-6.78	Z	3.42
α	-32.07	β	0.00	γ	0.00

【0078】

実施例3

(ポジション1)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	∞			
1	∞ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(2)	1.4973	69.2
4	FFS③ (DSM)		偏心(3)	1.4973	69.2
5	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
6	FFS④		偏心(4)	1.5254	56.2
7	FFS⑤		偏心(5)		
8	∞ (HRP)		偏心(6)		
9	∞	1.00		1.5163	64.1
10	∞	0.50			
像 面	∞				
FFS①					
C_4	1.0567×10^{-1}	C_6	3.1074×10^{-2}	C_8	-2.4961×10^{-4}
C_{10}	-6.2205×10^{-3}	C_{11}	2.5480×10^{-3}	C_{13}	1.0409×10^{-3}
C_{15}	-8.7076×10^{-4}				
FFS②					
C_4	2.6681×10^{-1}	C_6	5.0531×10^{-2}	C_8	4.5698×10^{-2}
C_{10}	2.5319×10^{-3}	C_{11}	3.2281×10^{-2}	C_{13}	8.1706×10^{-3}
C_{15}	7.6660×10^{-4}				
FFS③					
C_4	-5.4617×10^{-3}	C_6	-1.6352×10^{-2}	C_8	-1.3703×10^{-3}
C_{10}	-4.9315×10^{-4}	C_{11}	5.0470×10^{-4}	C_{13}	7.8514×10^{-5}
C_{15}	-1.2385×10^{-4}				
FFS④					
C_4	-5.5017×10^{-3}	C_6	4.5534×10^{-4}	C_8	-9.0248×10^{-4}
C_{10}	6.9727×10^{-6}	C_{11}	1.8154×10^{-4}	C_{13}	-1.5398×10^{-7}
C_{15}	-2.1662×10^{-4}				
FFS⑤					
C_4	-8.4794×10^{-2}	C_6	5.5699×10^{-2}		
偏心(1)					
X	0.00	Y	0.00	Z	1.75
α	4.06	β	0.00	γ	0.00
偏心(2)					
X	0.00	Y	0.04	Z	3.31

α 35.08 β 0.00 γ 0.00
 偏心(3)
 X 0.00 Y 0.06 Z 5.11
 α 35.08 β 0.00 γ 0.00
 偏心(4)
 X 0.00 Y -4.88 Z 3.23
 α 27.30 β 0.00 γ 0.00
 偏心(5)
 X 0.00 Y -5.48 Z 5.53
 α -18.21 β 0.00 γ 0.00
 偏心(6)
 X 0.00 Y -5.65 Z 6.29
 α -12.44 β 0.00 γ 0.00

【0079】

(ポジション2)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	1000.00			
1	∞ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(2)	1.4973	69.2
4	FFS③ (DSM)		偏心(3)	1.4973	69.2
5	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
6	FFS④		偏心(4)	1.5254	56.2
7	FFS⑤		偏心(5)		
8	∞ (HRP)		偏心(6)		
9	∞	1.00		1.5163	64.1
10	∞	0.50			
像 面	∞				
FFS①					
C_4	1.0567×10^{-1}	C_6	3.1074×10^{-2}	C_8	-2.4961×10^{-4}
C_{10}	-6.2205×10^{-3}	C_{11}	2.5480×10^{-3}	C_{13}	1.0409×10^{-3}
C_{15}	-8.7076×10^{-4}				
FFS②					
C_4	2.6681×10^{-1}	C_6	5.0531×10^{-2}	C_8	4.5698×10^{-2}
C_{10}	2.5319×10^{-3}	C_{11}	3.2281×10^{-2}	C_{13}	8.1706×10^{-3}
C_{15}	7.6660×10^{-4}				
FFS③					
C_4	-5.7986×10^{-3}	C_6	-1.6512×10^{-2}	C_8	-1.3836×10^{-3}
C_{10}	-4.8806×10^{-4}	C_{11}	5.1705×10^{-4}	C_{13}	7.7511×10^{-5}
C_{15}	-1.2292×10^{-4}				
FFS④					
C_4	-5.5017×10^{-3}	C_6	4.5534×10^{-4}	C_8	-9.0248×10^{-4}
C_{10}	6.9727×10^{-6}	C_{11}	1.8154×10^{-4}	C_{13}	-1.5398×10^{-7}
C_{15}	-2.1662×10^{-4}				
FFS⑤					
C_4	-8.4794×10^{-2}	C_6	5.5699×10^{-2}		
偏心(1)					
X	0.00	Y	0.00	Z	1.75
α	4.06	β	0.00	γ	0.00
偏心(2)					

X	0.00	Y	0.04	Z	3.31
α	35.08	β	0.00	γ	0.00
偏心(3)					
X	0.00	Y	0.06	Z	5.11
α	35.08	β	0.00	γ	0.00
偏心(4)					
X	0.00	Y	-4.88	Z	3.23
α	27.30	β	0.00	γ	0.00
偏心(5)					
X	0.00	Y	-5.48	Z	5.53
α	-18.21	β	0.00	γ	0.00
偏心(6)					
X	0.00	Y	-5.65	Z	6.29
α	-12.44	β	0.00	γ	0.00

【0080】

(ポジション3)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	100.00			
1	∞ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(2)	1.4973	69.2
4	FFS③ (DSM)		偏心(3)	1.4973	69.2
5	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
6	FFS④		偏心(4)	1.5254	56.2
7	FFS⑤ (HRP)		偏心(5)		
8	∞		偏心(6)		
9	∞	1.00		1.5163	64.1
10	∞	0.50			
像 面	∞				
FFS①					
C_4	1.0567×10^{-1}	C_6	3.1074×10^{-2}	C_8	-2.4961×10^{-4}
C_{10}	-6.2205×10^{-3}	C_{11}	2.5480×10^{-3}	C_{13}	1.0409×10^{-3}
C_{15}	-8.7076×10^{-4}				
FFS②					
C_4	2.6681×10^{-1}	C_6	5.0531×10^{-2}	C_8	4.5698×10^{-2}
C_{10}	2.5319×10^{-3}	C_{11}	3.2281×10^{-2}	C_{13}	8.1706×10^{-3}
C_{15}	7.6660×10^{-4}				
FFS③					
C_4	-8.6892×10^{-3}	C_6	-1.7888×10^{-2}	C_8	-1.2962×10^{-3}
C_{10}	-4.5273×10^{-4}	C_{11}	4.9172×10^{-4}	C_{13}	9.9591×10^{-5}
C_{15}	-1.1892×10^{-4}				
FFS④					
C_4	-5.5017×10^{-3}	C_6	4.5534×10^{-4}	C_8	-9.0248×10^{-4}
C_{10}	6.9727×10^{-6}	C_{11}	1.8154×10^{-4}	C_{13}	-1.5398×10^{-7}
C_{15}	-2.1662×10^{-4}				
FFS⑤					
C_4	-8.4794×10^{-2}	C_6	5.5699×10^{-2}		
偏心(1)					
X	0.00	Y	0.00	Z	1.75
α	4.06	β	0.00	γ	0.00

偏心(2)					
X	0.00	Y	0.04	Z	3.31
α	35.08	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)					
X	0.00	Y	0.06	Z	5.11
α	35.08	β	0.00	γ	0.00

偏心(4)					
X	0.00	Y	-4.88	Z	3.23
α	27.30	β	0.00	γ	0.00

偏心(5)					
X	0.00	Y	-5.48	Z	5.53
α	-18.21	β	0.00	γ	0.00

偏心(6)					
X	0.00	Y	-5.65	Z	6.29
α	-12.44	β	0.00	γ	0.00

実施例4

(ポジション1)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	∞			
1	∞ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
4	FFS③		偏心(3)		
5	FFS④ (DSM)		偏心(4)		
6	FFS③		偏心(3)	1.5254	56.2
7	FFS⑤		偏心(5)	1.5254	56.2
8	FFS②		偏心(2)		
9	∞ (HRP)		偏心(6)		
10	∞	0.55		1.5163	64.1
11	∞	0.50			
像 面	∞				
FFS①					
C_4	-6.4436×10^{-2}	C_6	-7.3115×10^{-2}	C_{11}	-2.7633×10^{-4}
C_{13}	-1.2071×10^{-3}	C_{15}	-2.3377×10^{-3}		
FFS②					
C_4	-6.7388×10^{-3}	C_6	3.5615×10^{-3}	C_8	1.0705×10^{-4}
C_{10}	-1.4204×10^{-4}	C_{11}	7.1532×10^{-5}	C_{13}	1.5571×10^{-5}
C_{15}	-2.5317×10^{-5}				
FFS③					
C_4	-1.2975×10^{-2}	C_6	-3.0719×10^{-2}	C_8	5.0980×10^{-5}
C_{10}	4.3821×10^{-4}	C_{11}	7.6909×10^{-5}	C_{13}	2.6244×10^{-4}
C_{15}	-1.2942×10^{-4}				
FFS④					
C_4	-3.0681×10^{-2}	C_6	-3.4991×10^{-2}	C_8	2.1369×10^{-4}
C_{10}	-2.3277×10^{-4}	C_{11}	-9.5609×10^{-5}	C_{13}	-2.1372×10^{-4}
C_{15}	-8.7901×10^{-5}				
FFS⑤					
C_4	9.0329×10^{-3}	C_6	-1.0012×10^{-2}	C_8	7.1220×10^{-4}
C_{10}	-1.0009×10^{-4}	C_{11}	4.5209×10^{-5}	C_{13}	8.8065×10^{-5}
C_{15}	8.5942×10^{-6}				

偏心(1)					
X	0.00	Y	0.00	Z	0.06
α	0.00	β	0.00	γ	0.00
偏心(2)					
X	0.00	Y	0.00	Z	2.05
α	60.85	β	0.00	γ	0.00
偏心(3)					
X	0.00	Y	-6.49	Z	6.06
α	-43.38	β	0.00	γ	0.00
偏心(4)					
X	0.00	Y	-7.37	Z	6.44
α	-43.87	β	0.00	γ	0.00
偏心(5)					
X	0.00	Y	-4.34	Z	0.91
α	15.41	β	0.00	γ	0.00
偏心(6)					
X	0.00	Y	-0.07	Z	3.29
α	60.64	β	0.00	γ	0.00

【0081】

(ポジション2)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	1000.00			
1	∞ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
4	FFS③		偏心(3)		
5	FFS④ (DSM)		偏心(4)		
6	FFS③		偏心(3)	1.5254	56.2
7	FFS⑤		偏心(5)	1.5254	56.2
8	FFS②		偏心(2)		
9	∞ (HRP)		偏心(6)		
10	∞	0.55		1.5163	64.1
11	∞	0.50			
像面	∞				
FFS①					
C_4	-6.4436×10^{-2}	C_6	-7.3115×10^{-2}	C_{11}	-2.7633×10^{-4}
C_{13}	-1.2071×10^{-3}	C_{15}	-2.3377×10^{-3}		
FFS②					
C_4	-6.7388×10^{-3}	C_6	3.5615×10^{-3}	C_8	1.0705×10^{-4}
C_{10}	-1.4204×10^{-4}	C_{11}	7.1532×10^{-5}	C_{13}	1.5571×10^{-6}
C_{15}	-2.5317×10^{-5}				
FFS③					
C_4	-1.2975×10^{-2}	C_6	-3.0719×10^{-2}	C_8	5.0980×10^{-5}
C_{10}	4.3821×10^{-4}	C_{11}	7.6909×10^{-5}	C_{13}	2.6244×10^{-4}
C_{15}	-1.2942×10^{-4}				
FFS④					
C_4	-3.0834×10^{-2}	C_6	-3.5066×10^{-2}	C_8	1.8631×10^{-4}
C_{10}	-2.3550×10^{-4}	C_{11}	-9.3673×10^{-5}	C_{13}	-2.1443×10^{-4}
C_{15}	-8.7342×10^{-5}				
FFS⑤					

C_4	9.0329×10^{-3}	C_6	-1.0012×10^{-2}	C_8	7.1220×10^{-4}
C_{10}	-1.0009×10^{-4}	C_{11}	4.5209×10^{-5}	C_{13}	8.8065×10^{-5}
C_{15}	8.5942×10^{-6}				

偏心(1)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.06
α	0.00	β	0.00	γ	0.00

偏心(2)

X	0.00	Y	0.00	Z	2.05
α	60.85	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)

X	0.00	Y	-6.49	Z	6.06
α	-43.38	β	0.00	γ	0.00

偏心(4)

X	0.00	Y	-7.37	Z	6.44
α	-43.87	β	0.00	γ	0.00

偏心(5)

X	0.00	Y	-4.34	Z	0.91
α	15.41	β	0.00	γ	0.00

偏心(6)

X	0.00	Y	-0.07	Z	3.29
α	60.64	β	0.00	γ	0.00

【 0082 】

(ポジション 3)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	100.00			
1	∞ (絞リ面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
4	FFS③		偏心(3)		
5	FFS④ (DSM)		偏心(4)		
6	FFS③		偏心(3)	1.5254	56.2
7	FFS⑤		偏心(5)	1.5254	56.2
8	FFS②		偏心(2)		
9	∞ (HRP)		偏心(6)		
10	∞	0.55		1.5163	64.1
11	∞	0.50			
像 面	∞				
	FFS①				
C_4	-6.4436×10^{-2}	C_6	-7.3115×10^{-2}	C_{11}	-2.7633×10^{-4}
C_{13}	-1.2071×10^{-3}	C_{15}	-2.3377×10^{-3}		
	FFS②				
C_4	-6.7388×10^{-3}	C_6	3.5615×10^{-3}	C_8	1.0705×10^{-4}
C_{10}	-1.4204×10^{-4}	C_{11}	7.1532×10^{-5}	C_{13}	1.5571×10^{-5}
C_{15}	-2.5317×10^{-5}				
	FFS③				
C_4	-1.2975×10^{-2}	C_6	-3.0719×10^{-2}	C_8	5.0980×10^{-5}
C_{10}	4.3821×10^{-4}	C_{11}	7.6909×10^{-5}	C_{13}	2.6244×10^{-4}
C_{15}	-1.2942×10^{-4}				
	FFS④				
C_4	-3.2086×10^{-2}	C_6	-3.5736×10^{-2}	C_8	1.6242×10^{-4}

$$C_{10} -2.2742 \times 10^{-4} \quad C_{11} -9.2971 \times 10^{-5} \quad C_{13} -2.1569 \times 10^{-4}$$

$$C_{15} -8.8234 \times 10^{-6}$$

F F S ⑤

$$C_4 \quad 9.0329 \times 10^{-3} \quad C_6 \quad -1.0012 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad 7.1220 \times 10^{-4}$$

$$C_{10} -1.0009 \times 10^{-4} \quad C_{11} \quad 4.5209 \times 10^{-5} \quad C_{13} \quad 8.8065 \times 10^{-5}$$

$$C_{15} \quad 8.5942 \times 10^{-6}$$

偏心(1)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 0.06$$

$$\alpha \quad 0.00 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(2)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad 0.00 \quad Z \quad 2.05$$

$$\alpha \quad 60.85 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(3)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad -6.49 \quad Z \quad 6.06$$

$$\alpha \quad -43.38 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(4)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad -7.37 \quad Z \quad 6.44$$

$$\alpha \quad -43.87 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(5)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad -4.34 \quad Z \quad 0.91$$

$$\alpha \quad 15.41 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

偏心(6)

$$X \quad 0.00 \quad Y \quad -0.07 \quad Z \quad 3.29$$

$$\alpha \quad 60.64 \quad \beta \quad 0.00 \quad \gamma \quad 0.00$$

実施例5

(ボジション1)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	∞			
1	∞ (絞り面)				
2	F F S ①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	F F S ②		偏心(2)		
4	F F S ③ (DSM)		偏心(3)		
5	F F S ②		偏心(2)	1.5254	56.2
6	F F S ①		偏心(1)	1.5254	56.2
7	F F S ④		偏心(4)	1.5254	56.2
8	F F S ⑤		偏心(5)	1.5254	56.2
9	F F S ④		偏心(4)		
10	∞ (HRP)		偏心(6)		
11	∞	0.55		1.5163	64.1
12	∞	0.50			
像 面	∞				

F F S ①

$$C_4 \quad 1.8163 \times 10^{-2} \quad C_6 \quad 1.1651 \times 10^{-2} \quad C_8 \quad 3.0002 \times 10^{-3}$$

$$C_{10} -3.5383 \times 10^{-4} \quad C_{11} -3.3122 \times 10^{-4} \quad C_{13} \quad 1.2716 \times 10^{-4}$$

$$C_{15} \quad 9.7268 \times 10^{-6}$$

F F S ②

$$C_4 \quad -4.5005 \times 10^{-3} \quad C_6 \quad 9.0138 \times 10^{-4} \quad C_8 \quad 4.5271 \times 10^{-3}$$

$$C_{10} -1.5303 \times 10^{-3} \quad C_{11} \quad 3.3446 \times 10^{-4} \quad C_{13} \quad 5.9680 \times 10^{-4}$$

$$C_{15} \quad 2.3049 \times 10^{-4}$$

F F S ③

C_4	3.9639×10^{-3}	C_6	-2.1776×10^{-3}	C_8	2.1463×10^{-3}
C_{10}	1.5585×10^{-3}	C_{11}	-4.7817×10^{-4}	C_{13}	1.3106×10^{-4}
C_{15}	-1.0174×10^{-4}				

FFS④

C_4	4.3696×10^{-2}	C_6	1.0430×10^{-2}	C_8	7.1557×10^{-3}
C_{10}	-1.2829×10^{-3}	C_{11}	-9.5494×10^{-5}	C_{13}	4.0730×10^{-5}
C_{15}	6.5262×10^{-6}				

FFS⑤

C_4	4.4714×10^{-2}	C_6	2.5659×10^{-2}	C_8	1.9530×10^{-3}
C_{10}	-2.1893×10^{-3}	C_{11}	1.9650×10^{-4}	C_{13}	-9.0025×10^{-5}
C_{15}	2.2762×10^{-4}				

偏心(1)

X	0.00	Y	-3.33	Z	0.14
α	-9.55	β	0.00	γ	0.00

偏心(2)

X	0.00	Y	-0.13	Z	2.47
α	15.33	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)

X	0.00	Y	-0.35	Z	3.21
α	20.19	β	0.00	γ	0.00

偏心(4)

X	0.00	Y	-8.71	Z	3.22
α	-3.45	β	0.00	γ	0.00

偏心(5)

X	0.00	Y	-11.69	Z	1.00
α	30.06	β	0.00	γ	0.00

偏心(6)

X	0.00	Y	-11.27	Z	4.09
α	9.60	β	0.00	γ	0.00

【0083】

(ポジション2)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	1000.00			
1	∞ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(2)		
4	FFS③ (DSM)		偏心(3)		
5	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
6	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
7	FFS④		偏心(4)	1.5254	56.2
8	FFS⑤		偏心(5)	1.5254	56.2
9	FFS④		偏心(4)		
10	∞ (HRP)		偏心(6)		
11	∞	0.55		1.5163	64.1
12	∞	0.50			
像面	∞				
	FFS①				
C_4	1.8163×10^{-2}	C_6	1.1651×10^{-2}	C_8	3.0002×10^{-3}
C_{10}	-3.5383×10^{-4}	C_{11}	-3.3122×10^{-4}	C_{13}	1.2716×10^{-4}
C_{15}	9.7268×10^{-6}				

FFS②

C_4	-4.5005×10^{-3}	C_6	9.0138×10^{-4}	C_8	4.5271×10^{-3}
C_{10}	-1.5303×10^{-3}	C_{11}	3.3446×10^{-4}	C_{13}	5.9680×10^{-4}
C_{15}	2.3049×10^{-4}				

FFS③

C_4	3.6148×10^{-3}	C_6	-2.4492×10^{-3}	C_8	2.1436×10^{-3}
C_{10}	1.5642×10^{-3}	C_{11}	-4.7070×10^{-4}	C_{13}	1.1929×10^{-4}
C_{15}	-7.2076×10^{-5}				

FFS④

C_4	4.3696×10^{-2}	C_6	1.0430×10^{-2}	C_8	7.1557×10^{-3}
C_{10}	-1.2829×10^{-3}	C_{11}	-9.5494×10^{-5}	C_{13}	4.0730×10^{-5}
C_{15}	6.5262×10^{-5}				

FFS⑤

C_4	4.4714×10^{-2}	C_6	2.5659×10^{-2}	C_8	1.9530×10^{-3}
C_{10}	-2.1893×10^{-3}	C_{11}	1.9650×10^{-4}	C_{13}	-9.0025×10^{-5}
C_{15}	2.2762×10^{-4}				

偏心(1)

X	0.00	Y	-3.33	Z	0.14
α	-9.55	β	0.00	γ	0.00

偏心(2)

X	0.00	Y	-0.13	Z	2.47
α	15.33	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)

X	0.00	Y	-0.35	Z	3.21
α	20.19	β	0.00	γ	0.00

偏心(4)

X	0.00	Y	-8.71	Z	3.22
α	-3.45	β	0.00	γ	0.00

偏心(5)

X	0.00	Y	-11.69	Z	1.00
α	30.06	β	0.00	γ	0.00

偏心(6)

X	0.00	Y	-11.27	Z	4.09
α	9.60	β	0.00	γ	0.00

【0084】

(ポジション3)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	100.00			
1	∞ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(2)		
4	FFS③ (DSM)		偏心(3)		
5	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
6	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
7	FFS④		偏心(4)	1.5254	56.2
8	FFS⑤		偏心(5)	1.5254	56.2
9	FFS④		偏心(4)		
10	∞ (HRP)		偏心(6)		
11	∞	0.55		1.5163	64.1
12	∞	0.50			

像 面

 ∞

F F S ①

C_4	1.8163×10^{-2}	C_6	1.1651×10^{-2}	C_8	3.0002×10^{-3}
C_{10}	-3.5383×10^{-4}	C_{11}	-3.3122×10^{-4}	C_{13}	1.2716×10^{-4}
C_{15}	9.7268×10^{-6}				

F F S ②

C_4	-4.5005×10^{-3}	C_6	9.0138×10^{-4}	C_8	4.5271×10^{-3}
C_{10}	-1.5303×10^{-3}	C_{11}	3.3446×10^{-4}	C_{13}	5.9680×10^{-4}
C_{15}	2.3049×10^{-4}				

F F S ③

C_4	5.2834×10^{-4}	C_6	-4.5878×10^{-3}	C_8	2.1860×10^{-3}
C_{10}	1.5914×10^{-3}	C_{11}	-4.2563×10^{-4}	C_{13}	1.6259×10^{-4}
C_{15}	-6.8544×10^{-6}				

F F S ④

C_4	4.3696×10^{-2}	C_6	1.0430×10^{-2}	C_8	7.1557×10^{-3}
C_{10}	-1.2829×10^{-3}	C_{11}	-9.5494×10^{-5}	C_{13}	4.0730×10^{-5}
C_{15}	6.5262×10^{-6}				

F F S ⑤

C_4	4.4714×10^{-2}	C_6	2.5659×10^{-2}	C_8	1.9530×10^{-3}
C_{10}	-2.1893×10^{-3}	C_{11}	1.9650×10^{-4}	C_{13}	-9.0025×10^{-5}
C_{15}	2.2762×10^{-4}				

偏心(1)

X	0.00	Y	-3.33	Z	0.14
α	-9.55	β	0.00	γ	0.00

偏心(2)

X	0.00	Y	-0.13	Z	2.47
α	15.33	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)

X	0.00	Y	-0.35	Z	3.21
α	20.19	β	0.00	γ	0.00

偏心(4)

X	0.00	Y	-8.71	Z	3.22
α	-3.45	β	0.00	γ	0.00

偏心(5)

X	0.00	Y	-11.69	Z	1.00
α	30.06	β	0.00	γ	0.00

偏心(6)

X	0.00	Y	-11.27	Z	4.09
α	9.60	β	0.00	γ	0.00

実施例6

(ポジション1)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	∞	∞			
1	-29.32	1.50		1.4870	70.4
2	7.88	1.00			
3	7.65	2.25		1.7305	37.4
4	-163.55	0.50			
5	-35.71	1.50		1.6292	58.5
6	7.47	9.93			
7	∞ (絞り面)	1.99			

8	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
9	FFS②		偏心(2)		
10	FFS③ (DSM)		偏心(3)		
11	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
12	FFS④		偏心(4)	1.5254	56.2
13	FFS⑤		偏心(5)		
14	∞ (HRP)		偏心(6)		
15	∞	0.90		1.5163	64.1
16	∞	0.10			

像 面

FFS①

C_4	1.9234×10^{-3}	C_6	-3.9578×10^{-2}	C_8	-4.7508×10^{-3}
C_{10}	-7.9599×10^{-3}	C_{11}	-1.8954×10^{-4}	C_{13}	-8.9512×10^{-4}
C_{15}	-9.0507×10^{-4}				

FFS②

C_4	-2.9392×10^{-2}	C_6	-3.2309×10^{-2}	C_8	-1.5549×10^{-3}
C_{10}	-6.8644×10^{-4}	C_{11}	-2.8433×10^{-4}	C_{13}	2.3525×10^{-4}
C_{15}	-1.8172×10^{-4}				

FFS③

C_4	-2.0132×10^{-2}	C_6	-2.5665×10^{-2}	C_8	2.4524×10^{-4}
C_{10}	-7.4701×10^{-4}	C_{11}	7.7978×10^{-5}	C_{13}	-1.9068×10^{-4}
C_{15}	-8.2593×10^{-6}				

FFS④

C_4	-7.8643×10^{-3}	C_6	-2.1051×10^{-2}	C_8	-2.9543×10^{-3}
C_{10}	-5.6981×10^{-4}	C_{11}	-6.4779×10^{-5}	C_{13}	-6.6714×10^{-5}
C_{15}	-2.0575×10^{-5}				

FFS⑤

C_4	2.5984×10^{-2}	C_6	-1.3750×10^{-2}	C_8	-1.1378×10^{-2}
C_{10}	-1.9427×10^{-3}	C_{11}	1.1354×10^{-3}	C_{13}	8.4860×10^{-4}
C_{15}	9.8463×10^{-4}				

偏心(1)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	-11.41	β	0.00	γ	0.00

偏心(2)

X	0.00	Y	-0.36	Z	5.13
α	12.01	β	0.00	γ	0.00

偏心(3)

X	0.00	Y	-0.97	Z	7.84
α	12.11	β	0.00	γ	0.00

偏心(4)

X	0.00	Y	-5.81	Z	-1.18
α	-16.65	β	0.00	γ	0.00

偏心(5)

X	0.00	Y	-8.80	Z	0.69
α	-69.38	β	0.00	γ	0.00

偏心(6)

X	0.00	Y	-9.58	Z	1.31
α	-51.68	β	0.00	γ	0.00

【0085】

(ポジション2)

面番号 物体面	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アップ数
1	∞	∞			
2	-29.32	1.50		1.4870	70.4
3	7.88	1.00			
4	7.65	2.25		1.7305	37.4
5	-163.55	0.50			
6	-35.71	1.50		1.6292	58.5
7	7.47	6.80			
8	∞ (絞 り 面)	0.88			
9	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
10	FFS②		偏心(2)		
11	FFS③ (DSM)		偏心(3)		
12	FFS④		偏心(2)	1.5254	56.2
13	FFS⑤		偏心(4)	1.5254	56.2
14	∞ (HRP)		偏心(5)		
15	∞	0.90	偏心(6)		
16	∞	1.11		1.5163	64.1
像 面	∞				
FFS①					
C_4	1.9234×10^{-3}	C_6	-3.9578×10^{-2}	C_8	-4.7508×10^{-3}
C_{10}	-7.9599×10^{-3}	C_{11}	-1.8954×10^{-4}	C_{13}	-8.9512×10^{-4}
C_{15}	-9.0507×10^{-4}				
FFS②					
C_4	-2.9392×10^{-2}	C_6	-3.2309×10^{-2}	C_8	-1.5549×10^{-3}
C_{10}	-6.8644×10^{-4}	C_{11}	-2.8433×10^{-4}	C_{13}	2.3525×10^{-4}
C_{15}	-1.8172×10^{-4}				
FFS③					
C_4	-2.0187×10^{-2}	C_6	-2.5626×10^{-2}	C_8	2.4499×10^{-4}
C_{10}	-7.5505×10^{-4}	C_{11}	7.4891×10^{-5}	C_{13}	-1.9494×10^{-4}
C_{15}	-7.5368×10^{-6}				
FFS④					
C_4	-7.8643×10^{-3}	C_6	-2.1051×10^{-2}	C_8	-2.9543×10^{-3}
C_{10}	-5.6981×10^{-4}	C_{11}	-6.4779×10^{-5}	C_{13}	-6.6714×10^{-5}
C_{15}	-2.0575×10^{-5}				
FFS⑤					
C_4	2.5984×10^{-2}	C_6	-1.3750×10^{-2}	C_8	-1.1378×10^{-2}
C_{10}	-1.9427×10^{-3}	C_{11}	1.1354×10^{-3}	C_{13}	8.4860×10^{-4}
C_{15}	9.8463×10^{-4}				
偏心(1)					
X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
α	-11.41	β	0.00	γ	0.00
偏心(2)					
X	0.00	Y	-0.36	Z	5.13
α	12.01	β	0.00	γ	0.00
偏心(3)					
X	0.00	Y	-0.97	Z	7.84
α	12.11	β	0.00	γ	0.00
偏心(4)					
X	0.00	Y	-5.81	Z	-1.18

α -16.65 β 0.00 γ 0.00
 偏心(5)
 X 0.00 Y -8.80 Z 0.69
 α -69.38 β 0.00 γ 0.00
 偏心(6)
 X 0.00 Y -9.58 Z 1.31
 α -51.68 β 0.00 γ 0.00

【0086】

(ポジション3)

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アップベ数
物体面	∞	∞			
1	-29.32	1.50		1.4870	70.4
2	7.88	1.00			
3	7.65	2.25		1.7305	37.4
4	-163.55	0.50			
5	-35.71	1.50		1.6292	58.5
6	7.47	3.00			
7	∞ (絞り面)	0.79			
8	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
9	FFS②		偏心(2)		
10	FFS③ (DSM)		偏心(3)		
11	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
12	FFS④		偏心(4)	1.5254	56.2
13	FFS⑤		偏心(5)		
14	∞ (HRP)		偏心(6)		
15	∞	0.90		1.5163	64.1
16	∞	2.73			
像面	∞				
FFS①					
C ₄	1.9234×10^{-3}	C ₆	-3.9578×10^{-2}	C ₈	-4.7508×10^{-3}
C ₁₀	-7.9599×10^{-3}	C ₁₁	-1.8954×10^{-4}	C ₁₃	-8.9512×10^{-4}
C ₁₅	-9.0507×10^{-4}				
FFS②					
C ₄	-2.9392×10^{-2}	C ₆	-3.2309×10^{-2}	C ₈	-1.5549×10^{-3}
C ₁₀	-6.8644×10^{-4}	C ₁₁	-2.8433×10^{-4}	C ₁₃	2.3525×10^{-4}
C ₁₅	-1.8172×10^{-4}				
FFS③					
C ₄	-2.0227×10^{-2}	C ₆	-2.5619×10^{-2}	C ₈	2.3786×10^{-4}
C ₁₀	-7.6498×10^{-4}	C ₁₁	5.1776×10^{-5}	C ₁₃	-2.0973×10^{-4}
C ₁₅	-1.1573×10^{-5}				
FFS④					
C ₄	-7.8643×10^{-3}	C ₆	-2.1051×10^{-2}	C ₈	-2.9543×10^{-3}
C ₁₀	-5.6981×10^{-4}	C ₁₁	-6.4779×10^{-5}	C ₁₃	-6.6714×10^{-5}
C ₁₅	-2.0575×10^{-5}				
FFS⑤					
C ₄	2.5984×10^{-2}	C ₆	-1.3750×10^{-2}	C ₈	-1.1378×10^{-2}
C ₁₀	-1.9427×10^{-3}	C ₁₁	1.1354×10^{-3}	C ₁₃	8.4860×10^{-4}
C ₁₅	9.8463×10^{-4}				
偏心(1)					
X	0.00	Y	0.00	Z	0.00

α	-11.41	β	0.00	γ	0.00
偏心(2)					
X	0.00	Y	-0.36	Z	5.13
α	12.01	β	0.00	γ	0.00
偏心(3)					
X	0.00	Y	-0.97	Z	7.84
α	12.11	β	0.00	γ	0.00
偏心(4)					
X	0.00	Y	-5.81	Z	-1.18
α	-16.65	β	0.00	γ	0.00
偏心(5)					
X	0.00	Y	-8.80	Z	0.69
α	-69.38	β	0.00	γ	0.00
偏心(6)					
X	0.00	Y	-9.58	Z	1.31
α	-51.68	β	0.00	γ	0.00

実施例7

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	∞			
1	∞ (絞り面)				
2	FFS①		偏心(1)	1.5254	56.2
3	FFS②		偏心(2)		
4	FFS③ (DSM)		偏心(3)		
5	FFS②		偏心(2)	1.5254	56.2
6	FFS④		偏心(4)	1.5254	56.2
7	FFS⑤		偏心(5)		
8	∞ (HRP)		偏心(6)		
9	∞	1.00		1.5163	64.1
10	∞	0.50			
像 面	∞				
FFS①					
C_4	-6.1472×10^{-2}	C_6	-6.5206×10^{-2}	C_8	-2.2839×10^{-2}
C_{10}	-1.6839×10^{-2}	C_{11}	-1.2295×10^{-3}	C_{13}	-4.8789×10^{-3}
C_{15}	-1.6701×10^{-3}				
FFS②					
C_4	-5.8777×10^{-2}	C_6	-4.8740×10^{-2}	C_8	-4.3380×10^{-3}
C_{10}	-2.5314×10^{-3}	C_{11}	-2.7163×10^{-4}	C_{13}	-4.6696×10^{-4}
C_{15}	2.3035×10^{-4}				
FFS③					
C_4	-2.4572×10^{-2}	C_6	-2.8263×10^{-2}	C_8	-1.6010×10^{-3}
C_{10}	-8.4354×10^{-4}	C_{11}	4.6909×10^{-5}	C_{13}	-1.7875×10^{-4}
C_{15}	1.0744×10^{-5}				
FFS④					
C_4	-1.2619×10^{-2}	C_6	-1.1670×10^{-2}	C_8	-3.0772×10^{-3}
C_{10}	-8.2107×10^{-4}	C_{11}	-4.7837×10^{-5}	C_{13}	2.8954×10^{-4}
C_{15}	2.7821×10^{-4}				
A	0.001				
R	1.75				
FFS⑤					
C_4	1.8447×10^{-2}	C_6	-4.1562×10^{-2}	C_8	-9.6013×10^{-3}

$$C_{10} \quad 9.4593 \times 10^{-3} \quad C_{11} \quad 1.6389 \times 10^{-3} \quad C_{13} \quad 2.9356 \times 10^{-3}$$

$$C_{15} \quad 5.4875 \times 10^{-3}$$

偏心(1)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & 0.00 & Z & 0.50 \\ \alpha & -4.99 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(2)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & -0.07 & Z & 2.96 \\ \alpha & 22.02 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(3)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & -0.45 & Z & 4.29 \\ \alpha & 22.02 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(4)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & -4.55 & Z & 0.44 \\ \alpha & 1.76 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(5)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & -6.27 & Z & 2.61 \\ \alpha & -50.21 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

偏心(6)

$$\begin{array}{llll} X & 0.00 & Y & -6.78 & Z & 3.42 \\ \alpha & -32.07 & \beta & 0.00 & \gamma & 0.00 \end{array}$$

【0087】上記実施例1～7の前記条件式(1)～
(3)、(6)に関する値は次の通りである。

【0088】

	$\Delta\mu_{\max}$ (μm)	ΔL_f (mm)	ΔL_b (mm)	ϕ ($^{\circ}$)
実施例1	28.26	—	7.15	19.22
実施例2	32.65	1.38	1.55	37.88
実施例3	27.88	2.69	2.37	34.40
実施例4	36.65	0.96	0.97	22.62
実施例5	28.53	1.26	0.87	36.33
実施例6	7.66	2.67	2.97	25.90
実施例7	7.25	1.38	1.55	37.88

【0089】ところで、本発明における形状可変ミラー3は、例えば図13に示したような機構により所望の面形状に変形される。図13において、形状可変ミラー3はアルミコーティングされた薄膜(反射面)からなり、その裏面に複数の並列配置の電極31が離間して設けられ、各電極31にそれぞれ可変抵抗器32が接続され、形状可変ミラー3と各電極31の間に、可変抵抗器32'と電源スイッチ33を介して電源34が接続されている。このような配置であるので、形状可変ミラー3と各電極31の間に印加される電圧を可変抵抗器32により任意に設定することにより、両者の間に働く静電力分布を所望のものにして形状可変ミラー3の面形状を任意に変形することが可能となる。図13の場合は、各可変抵抗器32の抵抗値は、演算装置35により制御されるように構成されており、演算装置35には、温度センサー36、湿度センサー37、距離センサー38が接続されていて、温度センサー36あるいは湿度センサー37で測定された温度値、湿度値に基づいて、この形状可変ミラー3を組み込んだ偏心反射光学装置の温度、湿度等

の環境による光学性能の低下を低減するように、演算装置35は各可変抵抗器32の抵抗値を制御する。なお、測定温度、測定湿度と各可変抵抗器32の抵抗値の関係は、演算装置35に付属したメモリに予め記憶させておき、その記憶と測定された温度値、湿度値に基づいて各可変抵抗器32の抵抗値を制御する。

【0090】また、距離センサー38は、図13の光学装置により固体撮像素子4上に結像させて撮像する被写体までの距離を測定する距離センサーであり、その測定値に基づいて形状可変ミラー3のパワーを制御して焦点合わせをする。この場合も、演算装置35に付属したメモリに、被写体距離と各可変抵抗器32の抵抗値の関係が予め記憶されており、その記憶と測定された被写体距離に基づいて各可変抵抗器32の抵抗値を制御して焦点合わせをする。なお、図中、符号30はレンズであり、この例の場合は、レンズ30と偏心プリズム2と形状可変ミラー3で偏心反射光学系を構成している。

【0091】図14は、形状可変ミラーの代わりに、反射面の入射側近傍の光学媒質の屈折率を自由に变化させ

て形状可変ミラーと同様に作用をする屈折率可変ミラーの1例を示す図である。この例は、物体からの光を偏心プリズム2を介して固体撮像素子4へ導く液晶可変ミラー41の例であり、曲面ミラー兼ねた分割電極42と透明電極44との間にツイストネマチック液晶43を充填して構成される。ツイストネマチック液晶43の螺旋ピッチPは、 $P < \lambda$ を満たすようになっている。ここで、 λ は光の波長で、可視光であれば $\lambda = 380 \text{ nm} \sim 700 \text{ nm}$ 程度である。ツイストネマチック液晶43は上記式を満たすとき、入射光の偏光方向に関係なく屈折率が略等方的で印加電圧に応じて変化するので、曲面ミラー42の面内で位置毎に反射方向を自由に变化させることが可能であり、形状可変ミラー3と同様の作用が得られる。

【0092】以上、本発明に基づく形状可変ミラーあるいは屈折率可変ミラーを、焦点調節、ズームに伴う収差変動補正、温度・湿度の変化に伴う光学性能の変動の補償、光学素子の製造誤差の補償に用いることを説明してきたが、同様に、視度調節、光学系の組立誤差の補正、手ブレ補正等にも用いることができる。

【0093】以上のような本発明による偏心光学系は、例えば頭部装着型画像表示装置の光学系として用いることができる。その例を以下に示す。

【0094】まず、図15に頭部装着型で両眼装着用の画像表示装置を観察者頭部に装着した状態を、図16にその断面図を示す。この構成は、本発明による偏心光学系を図16に示すように接眼光学系100として用いており、この接眼光学系100と液晶表示素子10とバックライト101とからなる組みを左右一対用意し、それらを眼輻距離だけ離して支持することにより、両眼で観察できる据え付け型又は頭部装着型画像表示装置のようなポータブル型の画像表示装置102として構成されている。

【0095】すなわち、表示装置本体102には、前記のような偏心プリズム2と形状可変ミラー3とからなる偏心光学系が配置され、偏心プリズム2は、液晶表示素子10に面した第1面21と、観察者眼球に面した第2面22と、観察者眼球側とは反対側の第3面23とからなり、第3面23の外側に形状可変ミラー3が位置し、液晶表示素子10からの光束は、第1面21からプリズム2内に入り、第2面22で一旦全反射され、次いで第3面23で屈折して一旦プリズム2から外へ出て形状可変ミラー3に入射して反射され、再び第3面23からプリズム2内に入り、今度は第2面22で屈折してプリズム2外に射出し、射出瞳位置にある観察者眼球側内に液晶表示素子10の表示像を拡大投影するものである。この場合に、形状可変ミラー3の面形状を変化させて温度・湿度の変化に伴う光学性能の変動の補償、光学素子の製造誤差の補償、あるいは、視度調節をするものである。

【0096】このように、偏心プリズム2と形状可変ミラー3とからなる偏心光学系が接眼光学系100として用いられ、その接眼光学系100が左右一対備えられ、それらに対応して像面に液晶表示素子10が配置されている。そして、表示装置本体102には、図15に示すように、左右に連続して図示のような側頭フレーム103が設けられ、表示装置本体102を観察者の眼前に保持できるようになっている。なお、各画像表示装置102の接眼光学系100の偏心プリズム2の第2面22を保護するために、図16に示すように、接眼光学系100の射出瞳と第2面22の間にカバー部材99が配置されている。このカバー部材99としては、平行平面板、正レンズあるいは負レンズの何れを用いてもよい。

【0097】また、側頭フレーム103にはスピーカ104が付設されており、画像観察と共に立体音響を聞くことができるようになっている。このようにスピーカ104を有する表示装置本体102には、映像音声伝達コード105を介してポータブルビデオカセット等の再生装置106が接続されているので、観察者はこの再生装置106を図示のようにベルト箇所等の任意の位置に保持して、映像音響を楽しむことができるようになっている。図15の符号107は再生装置106のスイッチ、ボリューム等の調節部である。なお、表示装置本体102の内部に映像処理、音声処理回路等の電子部品を内蔵させてある。

【0098】なお、コード105は先端をジャックにして、既存のビデオデッキ等に取り付け可能としてもよい。さらに、TV電波受信用チューナーに接続してTV鑑賞用としてもよいし、コンピュータに接続してコンピュータグラフィックスの映像や、コンピュータからのメッセージ映像等を受信するようにしてもよい。また、邪魔なコードを排斥するために、アンテナを接続して外部からの信号を電波によって受信するようにしてもよい。

【0099】さらに、本発明による観察光学系は、接眼光学系を左右何れか一方の眼前に配置した片眼用の頭部装着型画像表示装置に用いてもよい。図17にその片眼装着用の画像表示装置を観察者頭部に装着（この場合は、左眼に装着）した状態を示す。この構成では、接眼光学系100と液晶表示素子10とからなる組み1つからなる表示装置本体102が前フレーム108の対応する眼の前方位置に取り付けられ、その前フレーム108には左右に連続して図示のような側頭フレーム103が設けられており、表示装置本体102を観察者の片眼前に保持できるようになっている。その他の構成は図15の場合と同様であり、説明は省く。

【0100】また、本発明に基づく形状可変ミラーを用いて焦点調節可能にするには、例えば、被写体までの距離を測る装置と、被写体距離に応じて焦点位置が撮像面上で最適となるように反射面形状を制御することが可能な形状可変ミラーと、少なくとも1面が回転非対称な面

を有する反射光学系とを有する光学装置として構成することができる。

【0101】さらに好ましくは、例えば、被写体までの距離を測る装置と、被写体までの距離に応じて最適な反射面形状を記憶しておく記憶装置と、その記憶装置に記憶させた反射面形状に形状変化可能な形状可変ミラーと、少なくとも1面が回転非対称な面を有する反射光学系とを有する光学装置として構成することができる。

【0102】また、光学系の製造誤差や粗立誤差による光学性能の低下を低減するためには、例えば、反射面形状を制御することが可能な形状可変ミラーと、偏心プリズムの製造誤差や粗立誤差を原因とする光学性能の低下を補正するための面形状変化を記憶させた記憶装置と、少なくとも1面が回転非対称な面を有する反射光学系とを有する光学装置として構成することができる。

【0103】また、温度・湿度等の環境による光学性能の低下を低減するためには、例えば、形状可変ミラーと、温度・湿度等の環境を原因とする光学性能の低下を補正するための形状変化を記憶させた記憶装置と、撮影時の環境を測定する温度センサー、湿度センサーと、少なくとも1面が回転非対称な面を有する反射光学系とを有する光学装置として構成することができる。

$$0.0001 < \Delta\mu_{ax} < 10$$

を満たすことを特徴とする上記3記載の偏心光学系。

【0110】〔5〕 前記能動反射光学素子が、反射面の入射側近傍の光学媒質の屈折率を自由に变化させることができる屈折率可変ミラーからなることを特徴とする上記1又は2記載の偏心光学系。

【0111】〔6〕 前記能動反射光学素子のミラー面の面形状が、ミラー面で発生する回転非対称な収差を補

$$0.001 < \Delta L_f < 1000$$

$$0.001 < \Delta L_b < 1000$$

の少なくとも一方を満たすことを特徴とする上記1から6の何れか1項記載の偏心光学系。

【0113】〔8〕 光学素子を備え、前記能動反射光学素子が前記光学素子の1つの射出面に隣接して配置され、前記射出面から射出光線が射出する位置の前記射出

$n > n'$ においては、

$$0 \leq \sin \theta_{ex} < n' / n$$

$n < n'$ においては、

$$0 \leq \sin \theta_{in} < n / n'$$

の少なくとも一方を満たすことを特徴とする上記1から7の何れか1項記載の偏心光学系。

【0114】〔9〕 前記能動反射光学素子が、面形状を自由に变化させることができる形状可変ミラーからなり、前記射出面と前記形状可変ミラーとの間に透明流体

$$1^\circ < \phi < 85^\circ$$

を満たすことを特徴とする上記1から9の何れか1項記載の偏心光学系。

【0116】〔11〕 前記能動反射光学素子によって

【0104】また、ズーム状態間の収差状態の変動を抑え、各ズーム状態での収差が良好となるようにするためには、例えば、形状可変ミラーと、ズーム状態毎に最適な収差状態となる形状可変ミラーの面形状を記憶させた記憶装置と、少なくとも1面が回転非対称な面を有する反射光学系とを有するズーム光学系として構成することができる。

【0105】以上の本発明の偏心光学系は例えば次のように構成することができる。

【0106】〔1〕 少なくとも1面の回転非対称な面形状の反射面を備えた偏心光学系において、反射面内で位置毎に反射方向を変化させることが可能な能動反射光学素子を含むことを特徴とする偏心光学系。

【0107】〔2〕 前記能動反射光学素子が偏心光学系の少なくとも1面の反射面を構成していることを特徴とする上記1記載の偏心光学系。

【0108】〔3〕 前記能動反射光学素子が、面形状を変化させることができる形状可変ミラーからなることを特徴とする上記1又は2記載の偏心光学系。

【0109】〔4〕 前記形状可変ミラーのミラー形状の最大の変化量を $\Delta\mu_{ax}$ とするとき、

$$(mm) \quad \dots (1)$$

正するために回転非対称な面形状を有することを特徴とする上記1から5の何れか1項記載の偏心光学系。

【0112】〔7〕 前記能動反射光学素子の前の光学作用面から前記能動反射光学素子の反射面までの軸上主光線の光路長を ΔL_f 、前記能動反射光学素子の反射面から前記能動反射光学素子の後の光学作用面までの軸上主光線の光路長を ΔL_b とするとき、

$$(mm) \quad \dots (2)$$

$$(mm) \quad \dots (3)$$

面の法線と光学素子内の光線とのなす角を θ_{ex} とし、前記能動反射光学素子から前記射出面へ反射光線が入射する位置の前記射出面の法線と光学素子外の光線とのなす角を θ_{in} とし、前記光学素子媒質の屈折率を n 、前記光学素子に接する媒質の屈折率を n' とするとき、

$$\dots (4)$$

$$\dots (5)$$

を満たすように構成されていることを特徴とする上記8記載の偏心光学系。

【0115】〔10〕 前記能動反射光学素子に入射する軸上主光線が前記能動反射光学素子の反射面と交わる位置での法線とのなす角度を ϕ とするとき、

$$\dots (6)$$

焦点調節を行うように構成されていることを特徴とする上記1から10の何れか1項記載の偏心光学系。

【0117】〔12〕 前記能動反射光学素子によって

視度調節を行うように構成されていることを特徴とする上記1から10の何れか1項記載の偏心光学系。

【0118】〔13〕 前記能動反射光学素子によってズームに伴う収差変動補正を行うように構成されていることを特徴とする上記1から10の何れか1項記載の偏心光学系。

【0119】〔14〕 前記能動反射光学素子によって温度・湿度の変化に伴う光学性能の変化の補正を行うように構成されていることを特徴とする上記1から10の何れか1項記載の偏心光学系。

【0120】〔15〕 前記能動反射光学素子によって構成光学要素あるいは光学系の製造誤差の補償を行うように構成されていることを特徴とする上記1から10の何れか1項記載の偏心光学系。

【0121】〔16〕 前記能動反射光学素子によって光学系の手ブレを補正を行うように構成されていることを特徴とする上記1から10の何れか1項記載の偏心光学系。

【0122】〔17〕 上記1から16の何れか1項記載の偏心光学系を備えていることを特徴とする光学装置。

【0123】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によると、反射面内で位置毎に反射方向を自由に变化させることが可能な能動反射光学素子を含むので、偏心反射光学系の焦点調節、視度調節、ズームに伴う収差変動補正、温度・湿度の変化に伴う光学性能の変動の補償、光学素子の製造誤差の補償、手ブレ補正等を簡単な構成で行うことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の1実施形態の偏心光学系の構成を示す図である。

【図2】形状可変ミラーの2つの状態を示す図である。

【図3】能動反射光学素子の反射面と隣接する光学作用面との位置関係を示す図である。

【図4】 θ_{ex} と θ_{in} の定義を説明するための図である。

【図5】実施例1の偏心反射光学系の構成を示す断面図である。

【図6】実施例2の偏心反射光学系の構成を示す断面図である。

【図7】実施例3の偏心反射光学系の構成を示す断面図である。

【図8】実施例4の偏心反射光学系の構成を示す断面図である。

【図9】実施例5の偏心反射光学系の構成を示す断面図である。

【図10】実施例6のズーム光学系の広角端の断面図である。

【図11】実施例6のズーム光学系の間状態の断面図である。

【図12】実施例6のズーム光学系の望遠端の断面図である。

【図13】本発明における形状可変ミラーの変形原理を説明するための図である。

【図14】本発明における屈折率可変ミラーの1例を説明するための図である。

【図15】本発明の偏心光学系を用いる頭部装着型で両眼装着用の画像表示装置を観察者頭部に装着した状態を示す図である。

【図16】図15の断面図である。

【図17】本発明の偏心光学系を用いる頭部装着型で片眼装着用の画像表示装置を観察者頭部に装着した状態を示す図である。

【図18】偏心した反射面により発生する像面湾曲を説明するための概念図である。

【図19】偏心した反射面により発生する非点収差を説明するための概念図である。

【図20】偏心した反射面により発生するコマ収差を説明するための概念図である。

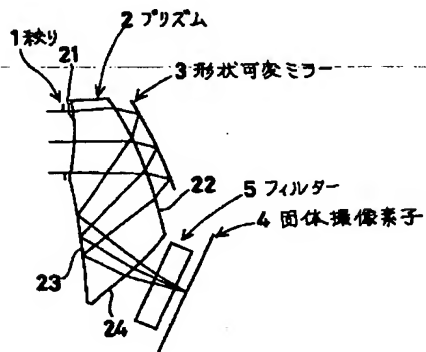
【符号の説明】

- 1…絞り
- 2…偏心プリズム
- 3…形状可変ミラー
- 4…固体撮像素子(像面)
- 5…フィルター
- 6…光学作用面(ミラー)
- 7…射出面
- 8…液溜め
- 9…液体
- 10…液晶表示素子
- 11…軸上主光線
- 21…第1面
- 22…第2面
- 23…第3面
- 24…第4面
- 30…レンズ
- 31…電極
- 32…可変抵抗器
- 32'…可変抵抗器
- 33…電源スイッチ
- 34…電源
- 35…演算装置
- 36…温度センサー
- 37…湿度センサー
- 38…距離センサー
- 41…液晶可変ミラー
- 42…分割電極
- 43…ツイストネマチック液晶
- 44…透明電極
- 99…カバー部材

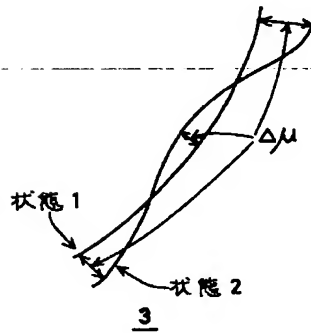
100…接眼光学系
 101…バックライト
 102…画像表示装置（表示装置本体）
 103…側頭フレーム
 104…スピーカ
 105…映像音声伝達コード

106…再生装置
 107…調節部
 108…前フレーム
 M …凹面鏡
 G1…第1群
 G2…第2群

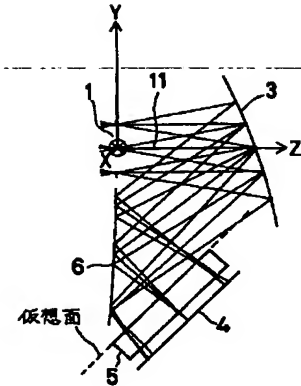
【図1】



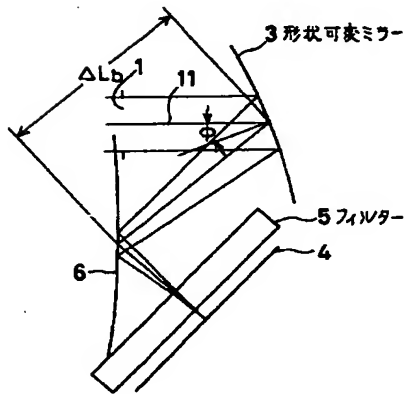
【図2】



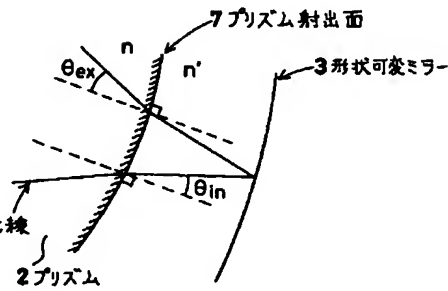
【図5】



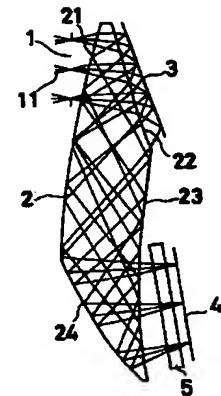
【図3】



【図4】

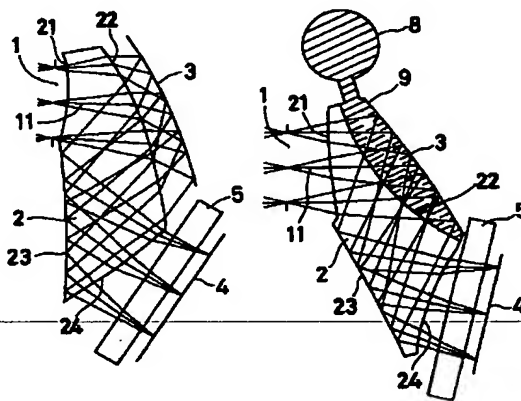


【図9】

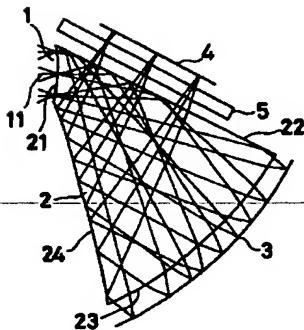


【図6】

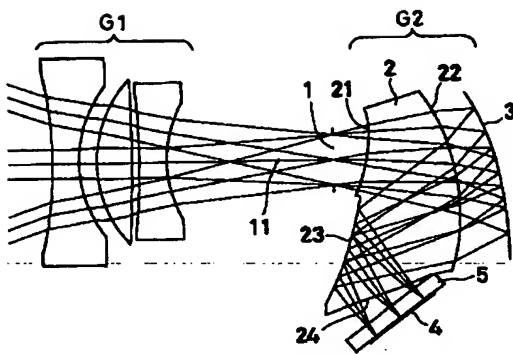
【図7】



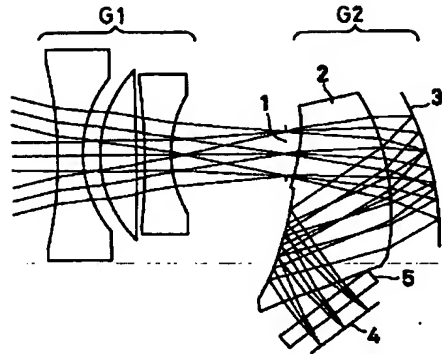
【図8】



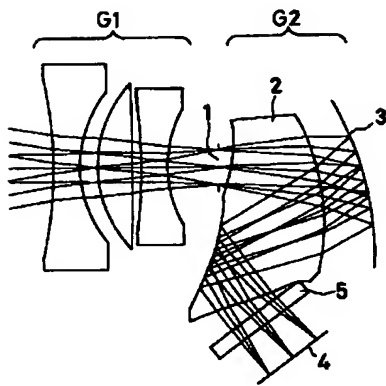
【図10】



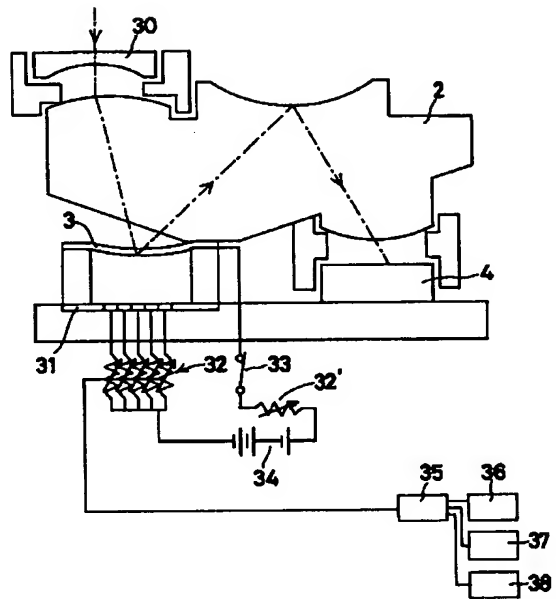
【図11】



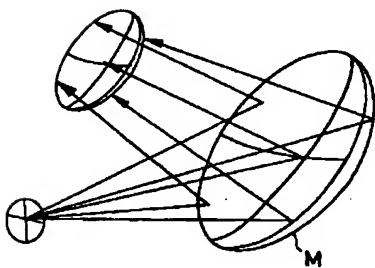
【図12】



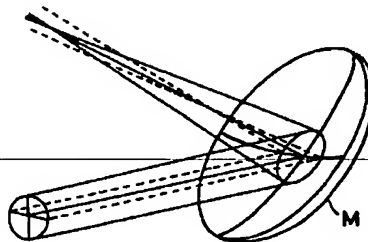
【図13】



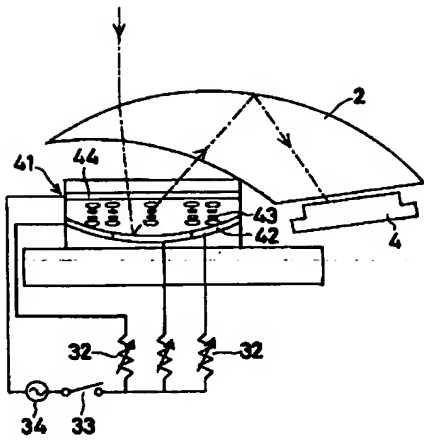
【図18】



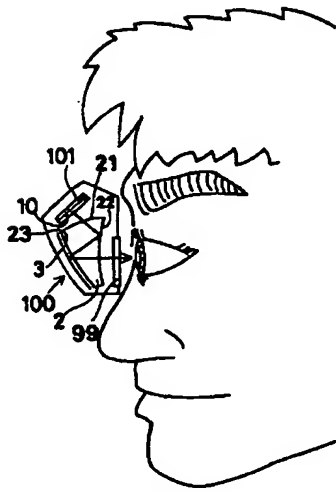
【図19】



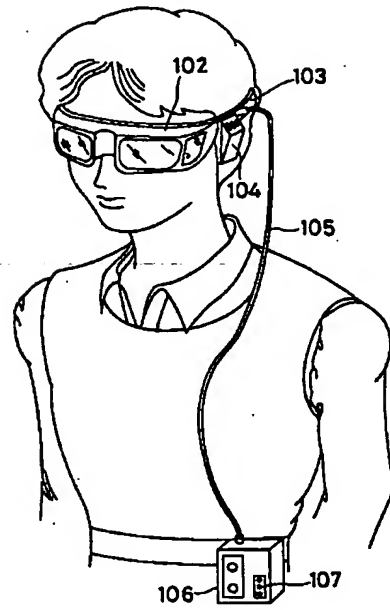
【図14】



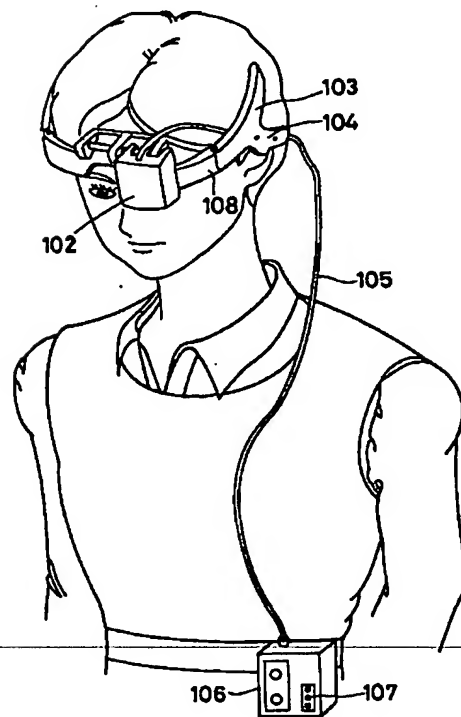
【図16】



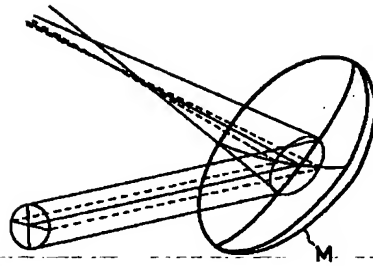
【図15】



【図17】



【図20】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H051 AA00 DD20 GB12
2H087 KA01 KA14 RA43 RA44 TA04
5G435 AA00 BB12 BB15 DD02 DD03
DD11 EE25 GG02 GG03 GG08
GG11